北京2022年冬奥会官方合作伙伴

免责声明

本文档可能含有预测信息，包括但不限于有关未来的财务、运营、产品系列、新技术等信息。由于实践中存在很多不确定因素，可能导致实际结果与预测信息有很大的差别。

因此，本文的信息仅供参考，不构成任何要约或承诺，主编不对您在本文档基础上做出的任何行为承担责任。主编可能不经通知修改上述信息，恕不另行通知。主编保留对本文档的最终解释权。

北京2022年冬奥会官方合作伙伴

云时代的全光底座

白皮书

中国联通研究院 | 华为技术有限公司

2020年10月

VISIT…

LANZAROTE

Caliente.COM

版权声明 本白皮书版权由中国联通研究院与华为技术有限公司共同拥有，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本白皮书文字或者观点的，应注明来源。

序

随着5G建设规模的不断扩大和电信技术的发展，电信网络内部的核心网（通信云）和承载网将逐步实现统一管控或统一编排，传统电信技术（CT）与信息技术（IT）也逐步深度融合形成信息通信技术（ICT），推动电信网络的云化转型；与此同时，电信网络承载的业务由以语音、短信等传统业务为主，向以互联网化业务为主进行转型，云化电信业务已经占骨干电信网络带宽的60%以上，而且呈现持续增长的趋势，电信网络管道化程度进一步加剧，重构电信网络、重塑电信网络价值是电信运营商亟需解决的关键问题之一。

长期以来，电信基础设施一直是电信运营商提供连接服务的基础。中国联通在5G网络规模部署和业务云化的大背景下提出了面向下一代电信网络重构的CUBE-NET 3.0架构，明确了电信网络宽带、泛在、智能、算力、安全和开放的转型方向，发挥电信网络的端到端“一体化”优势，提供具有竞争力的面向用户定制化和差异化的电信服务。光网络作为电信基础设施的重要组成部分，是电信网络内生能力增强、开放组网和实现网络智能化的基础。在5G和云时代，随着业务带宽、网络性能、网络安全、网络管控要求的不断提高，光网络将进一步直接提供面向连接的网络服务，同时也会逐步成为电信网络的坚实底座，满足云时代不同带宽、性能、安全、业务等级等需求的综合业务承载。

从上世纪九十年代“八纵八横”干线光缆网建成至今，我国进行了大规模的光网络建设和不断的升级改造，特别是近年来我国三大电信运营商完成了世界上最大规模的全光接入FTTx和“光进铜退”，截止2020年9月，全国光缆建设长度达到 4983 万公里，不但实现固网宽带全光接入和Gbit/s速率入户，丰富的光纤资源也是5G网络在我国得以快速部署的重要基础条件。在大规模光网络建设的同时，我国也逐步形成光芯片、器件、模块、传输系统及光纤光缆等基本完善的光网络产业链。可以说，光网络是整个通信网络链条中自主化和国产化程度较高的部分。

当前世界正处于百年未有之大变局，推动全球数字经济和可持续发展的趋势依然

当今世界发展的主旋律；在支撑国家数字经济发展的同时，中国联通自身也在进行网络数字化转型，光网络具有业务网络以及电信基础设施主要组成部分的双重身份，在灵活性、可靠性、安全性、网络性能、建设运营成本等方面对云业务的供给和运营均具有较大的影响甚至决定性影响，构建面向云业务的全光底座将会有助于CUBE-NET 3.0网络目标的落地应用，提升电信网络和业务的可靠性和灵活性，简化通信云自身和业务云承载的功能和性能要求，降低云承载自身网络的建设维护成本，从而整体上降低云化带来的网络TCO，也有助于云网一体策略的实施；同时，需要我们对后5G的电信网络架构进行重新思考，通过对扁平化的全光底座进行功能增强和业务扩展，实现承载网的平稳演进，满足更高性能、超高带宽和海量连接以及未来更多的业务需求。部署全光底座还可更好整合我国在光网络领域的整体技术和产业链，推动解决光网络关键技术的自主可控突破，从而推动电信网络技术的突破和发展，助力中国联通网络数字化转型，为国家数字经济发展做出贡献。

本白皮书针对云时代的业务特点和运营商的网络特点，首次提出了面向数字化转型、具有综合承载能力的全光底座，并探讨了全光底座架构、关键技术和典型应用案例，为云时代各种业务的开展提供参考。

指导 中国联通研究院：唐雄燕
华为技术有限公司：岳伟

主编 中国联通研究院：王光全、王海军、沈世奎、张贺、郑滟雷、满祥锟
华为技术有限公司：闫志勇、李卫平、顾江华、谢刚、袁国桃、毛正

目 录

第一章 云时代光网络的机会与挑战 01

- 1.1 网络云化要求光网络架构稳定，输出强大“运力” 01
- 1.2 业务云化要求低时延/大带宽/硬隔离的高品质入云连接 02
- 1.3 交互类/高清视频业务驱动网络面向体验升级 04
- 1.4 蓬勃发展的光网络产业，为网络强国奠定坚实基础 04
- 1.5 总结：云化时代光网络五大新特征 05

第二章 云时代的全光底座架构 07

- 2.1 打造面向品质业务和云化转型的坚实全光底座 07
- 2.2 基础承载：综合承载，超高品质，超大带宽 08
  - 2.2.1 云间互联：超高速、灵活组网 09
  - 2.2.2 核心汇聚：扁平、极简、光电协同 10
  - 2.2.3 全光锚点：多业务、广覆盖、优体验 12
  - 2.2.4 OTSN 端到端切片：超高品质，极致体验 13
- 2.3 云光协同：品质业务，灵活入云 15
  - 2.3.1 全光智能化锚点：边缘业务智能感知 15
  - 2.3.2 全光组网调度：管道动态建路与调整 16
  - 2.3.3 全光入云网关：对接云网关，一跳入云 17

第三章 全光底座关键技术 18

- 3.1 高速传输 18
- 3.2 全光交叉（OXC） 19
  - 3.2.1 全光交叉关键技术 19
  - 3.2.2 全光交叉设备 20
- 3.3 光纤频谱扩展 21
  - 3.3.1 骨干层面：C波段到扩展C波段，以及C+L波段 21
  - 3.3.2 接入层：多波段传输 21
- 3.4 G.metro 22
- 3.5 FlexO 23
- 3.6 OSU 灵活管道 24
  - 3.6.1 OSU技术帧结构 24
  - 3.6.2 OSU技术主要价值 24
- 3.7 全光底座控制面协议 25
  - 3.7.1 集中加分布式架构 25
  - 3.7.2 全光底座控制协议 26
- 3.8 端到端高精度时钟 27

第四章 智能管控 28

- 4.1 智能管控架构实现全流程运营自动化 28
  - 4.1.1 二级协同层实现全国一张网 29
  - 4.1.2 ACTN接口实现业务快速开通、覆盖全生命周期运维 29
- 4.2 业务网管理 29
  - 4.2.1 快速业务发放 29
  - 4.2.2 时延可感知、可销售、可承诺和可保障 30
  - 4.2.3 可用率可视、可评估和可优化 30

第五章 多场景适配与开放组网 31

- 5.1 多样化的设备型态，匹配不同场景的灵活部署 31
- 5.2 开放组网，加速业务发展 31

第六章 全光底座应用和典型案例 32

- 6.1 专线承载解决方案 32
  - 6.1.1 品质专线5星标准体系定义 32
  - 6.1.2 基于OTN技术的下一代专线业务网架构 33
- 6.2 视频承载解决方案 35
- 6.3 移动承载解决方案 35
  - 6.3.1 前传 36
  - 6.3.2 回传 36
- 6.4 典型案例 36
  - 6.4.1 全光入云品质专线 36
  - 6.4.2 高速云间互联 37

第七章 全光底座智能化 38

- 7.1 数字孪生&哑资源数字化 38
- 7.2 资源可视/预测/在线规划 39
- 7.3 健康保障，基于AI算法的故障预测 40
- 7.4 全光底座智能化的未来方向--自动驾驶光网络 40

附录 缩略语 42

01 云时代光网络的机会与挑战

我国数字经济规模不断扩张，贡献不断增强，2019年我国数字经济增加值规模达到35.8万亿元，占GDP比重达到36.2%。数字经济结构持续优化，2019年数字产业化增加值达7.1万亿元，占GDP比重7.2%。产业数字化增加值达28.8万亿元，占GDP比重为29.0%，占数字经济总值的80%多。

云计算诞生十余年，已从互联网行业渗透到实体产业，成为企业数字化转型的必然选择。云计算应用已从游戏、电商、社交等互联网行业全面向制造、金融、交通、医疗健康、政务等传统行业拓展。2019年我国云计算整体市场规模达1334亿元，增速38.6%。其中，公有云市场规模达到689亿元，相比2018年增长57.6%，预计2020-2022年仍将处于快速增长阶段，到2023年市场规模将超过2300亿元；私有云市场规模达645亿元，较2018年增长22.8%，预计未来几年将保持稳定增长，到2023年市场规模将近1500亿元。

仅有计算无法为客户创造价值，还需要强大的运力将用户和计算连接起来，连接的能力包括固定网络连接和无线网络连接，通过5G网络建设，将使无线网络提速10倍，而我国固定网络也由G bit/s发展到T bit/s的光网络。光纤网络、移动通信网络等网络基础设施已成为与水、电一样关系国计民生的基础设施，为工业互联网、城市转型提供坚实的底座，全光网、5G等新一代网络基础设施对资源高效利用、社会高效运行的使能迈向了一个全新的高度，有效推动数字经济向纵深处发展。光网络扮演着新兴产业中“数据流搬运”的关键角色，迅速改变着产业发展，不断优化提升传送能力。中国联通也正在通过开放的网络架构重构来支撑光网络由承载网走向业务网，从而更好地服务于企业的数字化转型。

1.1 网络云化要求光网络架构稳定，输出强大“运力”

不断涌现的新型IT技术正加速渗入到电信行业，推动了电信网络和业务升级换代，包括核心网、接入网、传输网以及业务控制中心等多个层面都在采用的云化方式部署，例如5G核心网的云化，BRAS云化，BSS/OSS云化等。近期电信网络云化有两个热点：

边缘云（MEC）

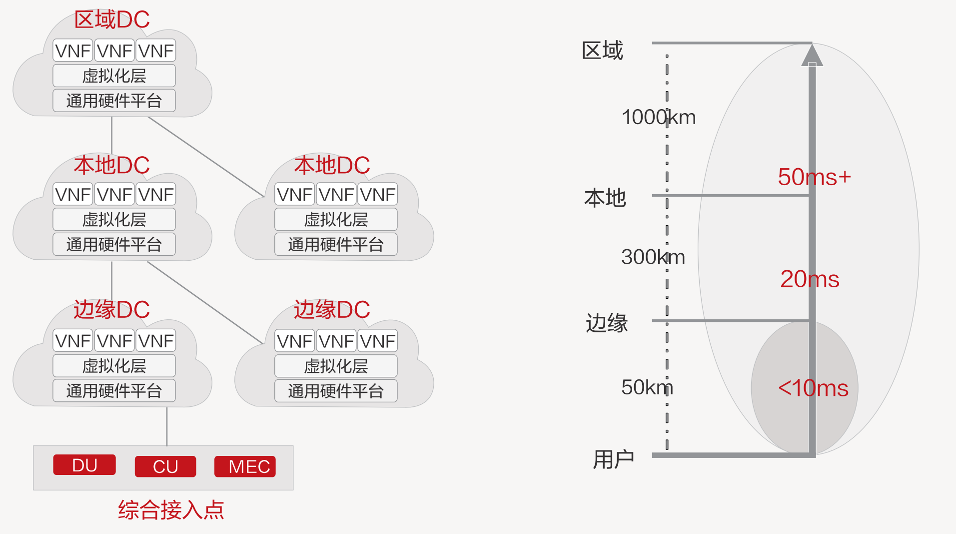
目前的核心数据中心很难支撑物联网的快速发展，VR/AR、自动驾驶、无人机、可穿戴设备和工业自动化等对网络时延敏感的应用需要边缘云快速响应它们的需求。据咨询机构IDC预测， 未来三年全世界40%以上数据需要在边缘进行分析、处理和存储。运营商在靠近用户终端构建边缘云平台，卸载本地流量，提高应用需求的处理速度，降低网络时延，为第三方应用提供安全高效的实时接口，高效承载电信和互联网边缘业务。结合电信行业特点，边缘云除了要有云的特点，还要有网关智能选路的能力；对于边缘数据中心响应不了的需求，可以自动选出一条距离最近、网络质量最好的路径，路由到核心数据中心去处理。

MEC包含企业专网和对公服务两大类：（1）企业专网MEC在港口、石化、园区等本地部署，数据不出园区，有较高安全性要求。（2）对公服务MEC：公网部署，就近服务自动驾驶、平安城市、VR游戏等，目前对公服务的MEC商业模式还不清晰，因此布局和流量存在较大不确定性。

MEC并非下沉得越多越好，部署建设需要综合考虑边际成本： MEC下沉过低，带来的端到端时延收益有限，同时会导致部署成本急剧上升，实际上MEC就近部署本质不是缩短距离，更重要的是减少跳数，控制整体时延以获得更好体验。

因此，**应对云带来的网络不确定性，运营商可考虑部署覆盖边缘的光网络**，在用户到边缘云之间实现确定性低时延和一跳直达的稳定架构，用光网络的强大“运力”实现资源的统一调配，提升DC“算力”的综合效能。

图1-1 DC下沉时延圈



网络切片

网络切片是指运营商使用基础网络设施创建多个虚拟的、隔离的、具备特定功能和能力的端到端的子片网络，为垂直市场定制网络切片服务是电信云化发展的热点。未来的网络场景更加个性化，垂直行业对网络的需求更加差异化。医疗、物流、智慧城市、智能电网等应用场景对网络的带宽、时延、安全等要求不同，网络切片能够为不同领域的客户提供端到端的切片服务来满足特定的性能指标，为不同的市场场景提供优化的解决方案。根据ABI Research预测，到2026年网络切片将为企业垂直市场创造660亿美元的价值。

网络切片商业模式目前还在探索之中，主要集中在核心网和IP承载网的切片场景，值得一提的是**光网络是天然的切片网络**，光网络的刚性管道提供了物理硬隔离、高安全性的特性，同时光网络还可根据客户业务需求，通过网络层次的扁平化，定制时延、可用率差异化切片网络能力。未来实现端到端的网络切片，还应考虑同一个切片在无线侧、光网络侧、IP承载网侧、核心网侧多个切片管理器的协同能力。

1.2 业务云化要求低时延/大带宽/硬隔离的高品质入云连接

中国社会正处于数字化加速进程中，疫情冲击导致“被动数字化”行为增加，加速了各行业由线下向线上转移，特别是办公、政务、教育、医疗等业务上云对高品质云网提出的新需求。

通过对运营商的专线数量统计和专线业务收入的分析，可以发现党政军、金融机构、大企业高价值客户是运营商政企专线的主要客户群和主要收入来源。党政军、金融等关键行业的业务上云，必然对安全隔离、低时延、高可靠要求特别高，下面从金融、政府、医疗三个场景说明入云专线的需求：

数字金融：银行业务视频化发展带来带宽提速，银行当前均需要人脸识别二维码等技术手段嵌入到开户流程中，网点理财业务要求录音录像驱动银行网点业务发生成倍的带宽提速，从当前全国各地银行带宽增长的趋势来看，银行网点接入带宽普遍从当前的4M/10M提升到20M/100M带宽增幅在五倍以上，省行一般覆盖上千个网点，则省行的专线总带宽将达到几十个Gbit/s。银行业务集约化管控运营：全国各大银行开始逐步取消地市汇聚银行业务核心生产系统，统一上送到省行数据中心云节点集中处理，提升业务效率，同时降低运营成本，从网点分行，省行两级访问业务模式带来十倍以上的跨地市长途专线的需求。

数字政府：新一代国家电子政务外网对承载网带来以下新的诉求信息系统要求：

- 全覆盖，按照横向到边，纵向到底的原则，新一代国家电子政务外网将全面覆盖中央省市县乡村，按照集约化建设的原则，建设统一共享的新一代电子政务外网，逐步实现政务专网业务的融合，并要求业务系统逐步云化部署，多业务多部门统一承载，需要构建大带宽的新一代电子政务外网，满足各种实时和非实时的语音数据，视频业务的融合承载需求以及政务云数据中心之间的高速数据传输需求，保证业务的性能和体验。
- 业务服务必须能够不间断，新一代电子政务外网作为电子政务重要的公共基础设施，承担着应急指挥等重要业务，要求极高的稳定性和可靠性，必须能够不间断地提供服务。
- 网络要具备弹性，提前为各种创新业务提供支撑，新一代国家电子政务外网必须具备技术先进性和前瞻性，网络能够满足5G互联网超高清视频等新业务的承载需求，为各类创新业务提供支撑。

数字医疗： 医疗云化业务要求高安全、高可靠，承载医院的HIS/PACS等系统，每天产生大量门诊和临床数据，一个典型三甲医院一年的数据量HIS是300GB，PACS高达60TB，1组CT为150M到4G，医疗业务的发展导致医疗影像数据飞速增长，传统每一两年就需要进行扩容，成本巨大，实施难度大，因此医疗上云的第一步就是影像系统上云，而医疗数据安全保护是医院信息系统安全的重中之重，一旦丢失，对任何医院都产生重大影响，在医院评审标准文件中明确规定，国家安全信息等级保护要求二级及以上等级保护，除了备份和业务连续性管理，还要有应急制度和灾难演练，因此，医院系统入云，对网络承载的安全性，可靠性具有高要求，同时，业务需要灾备云间大带宽互联。

医联体的出现，带来各级医院间大带宽，低时延互联诉求：医联体的战略进一步加速医院信息化改造和资源整合，医联体内不同的等级医院，不同的科室之间，通过视讯和会诊系统做到信息及时共享互通，实现远程医疗指导，而视讯会诊系统之间要求大带宽稳定，低时延连接的专线需求。

医院互联网化转型进一步促进医院入云：医院互联网化转型后，使用电子病历，电子处方更有利于监管及大数据分析，云端的大量医疗数据，帮助医院对病患的疾病慢性病进行全程管理，更好的为患者提供服务，而患者与医生之间的在线视频诊疗复诊等活动，对网络带宽的稳定性、低丢包、低时延都提出了很高的要求。

为了适应业务云化的需求，中国联通通过政企精品网的建设，打造低时延，大带宽，高可靠，覆盖广的智能连接网络。政企精品网依托于中国联通骨干OTN网络丰富的传输资源，通过新建骨干、汇聚节点，节点之间甄选最短、高速直达链路，并在客户侧部署用户设备，通过大带宽传输硬管道实现高私密、高安全的专线业务传输。

1.3 交互类/高清视频业务驱动网络面向体验升级

大视频时代来临，超高清视频业务蓬勃发展，到2021年月均数据流量将飙升至49EB，其中视频流量将占80%。视频、游戏、社交等业务快速增长，4K、8K、VR、AR蓬勃发展，超高清业务的需求骤增。自疫情以来，强交互性、上云、高清视频应用成为2H业务主流场景，根据统计，中国有3亿在线教育用户，2.5亿云游戏用户，以及4亿远程办公用户，这些视频类应用对网络时延、丢包率都有更严格的要求，视频业务对承载网的要求体现在带宽、时延和丢包率三个方面，如表1-1所示：

表1-1 视频业务对承载网的指标要求（华为iLab创新实验室）

	起步阶段，4K			舒适体验阶段，8K		理想体验阶段，12K	
类型	4K 直播	弱交互VR	强交互VR	弱交互VR	强交互VR	弱交互VR	强交互VR
带宽	≥54Mbit/s	≥60Mbit/s	≥80Mbit/s	≥120Mbit/s	≥130Mbit/s	≥420Mbit/s	≥540Mbit/s
时延	≤20ms	≤20ms	≤20ms	≤20ms	≤20ms	≤15ms	≤8ms
丢包	≤1E-6	≤1E-5	≤1E-6	≤1E-5	≤1E-6	≤1E-6	≤1E-7

以云游戏为例，云游戏无缝体验对网络提出500Mbit/s带宽、双8ms稳定低时延/抖动诉求，根据实际验证60帧频的云游戏，突发带宽可达500Mbit/s，当网络时延和抖动>17ms，网络会出现掉帧，时延劣化越大，掉帧越严重。

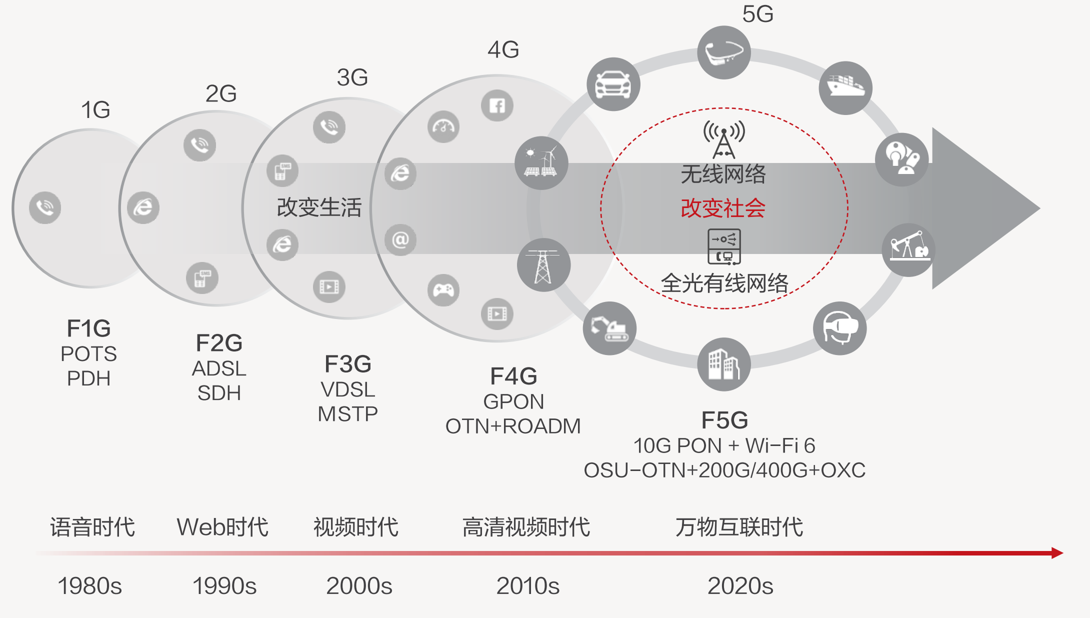
超高清视频具有高流量、高品质和高感知的“三高”特性，对传统多层收敛架构设计的承载网形成强烈挑战。传统承载网高收敛比架构，业务层层收敛，易拥塞，易丢包，时延不确定，视频体验无保障，扩容频繁，面向4K/8K 演进成本高。为保证消费者有更好的视频体验，首先需要对承载网络进行架构简化，采用光网络低收敛比架构，业务一跳直达，具有稳定低时延，保证视频的播放流畅。

1.4 蓬勃发展的光网络产业，为网络强国奠定坚实基础

中国的人口数量和分布特点及网络强国战略，为光网络产业领先世界打下了坚实基础，同时在运营商的牵引下，中国有成熟的端到端光网络产业链，系统设备、光模块及芯片的技术研究和生产能力都达到业界领先水平，中国在ITU-T等标准组织都有较强的话语权，促进了中国光网络产业持续蓬勃发展。

随着云网融合、光电融合、IT/CT融合等技术发展，光传送与光接入网络已经发展到第五代技术（F5G），具有全光连接、超高带宽、云网一体、智能化、极致体验等特征，可满足家庭数字生活、企业上云、云间互联、行业数字化等需求，为网络强国战略奠定坚实基础。

图1-2 5G和F5G网络代际演进



1.5 总结：云化时代光网络五大新特征

面向云时代，电信业务增量不增收挑战日益明显，据工信部统计，2020年上半年我国按照上年不变价计算的电信业务总量为7126亿元，同比增长19.3%，而电信业务收入累计完成6927亿元，仅同比增长3.2%，运营商需要重塑管道的价值，才能在新ICT市场趋势下掌握更多的市场地位和话语权。

云时代的新业务需要"三低四高"的品质连接，即低时延、低抖动、低丢包，高带宽，高可靠，高安全和高可用，因此承载网络应从尽力而为向确定性承载转型，开辟创新应用新蓝海。光网络因刚性管道的特性，天然具备提供高品质连接的能力，发展潜力巨大，将成为新基建和泛在网络的坚实底座。

当前光网络还存在架构复杂、适应性差、智能化程度低等问题，迫切需要从带宽驱动的管道网络，向体验驱动的云化业务网络演进，应具备如下特征：**确定性承载使能高品质业务，全光锚点使能全业务接入、光电协同使能网络扁平化、智能管控使能运维自动化、云光一体使能高品质云网。**

确定性承载：业务对网络的诉求从带宽逐步延伸到时延、抖动、丢包等可预期的确定性承载，要求把超宽、低时延、安全、可靠、低丢包等光网络核心能力对外开放，满足对内、对外业务承载需要。建设在物理光纤基础之上、面向连接的光网络，更容易提供满足高端专线、视频类业务、以及千行百业数字化要求的确定性承载能力。

全光锚点：传统光网络是业务倒逼网络规划，家宽，无线（3G/4G/5G）、政企各自一张网，网络架构缺乏系统性，建设响应速度慢，综合建设成本高。随着运营商基于综合业务接入点的网络架构重构，全光锚点将部署到综合业务接入机房，可实现网络边界稳定，提高传输接入站点集中度，保障业/网平滑发展，保障网络质量，降低投资成本，实现统一接入，统一传送承载。

光电协同：在光网络中，同等容量下光层节点的成本和功耗都远小于电层节点，但光层节点连接颗粒和数量远远无法满足海量业务连接需求。电与光相反，其颗粒灵活，支持海量连接，但会带来管理复杂、成本高、功耗大等问题。通过光电协同设备和组网架构，实现光电优势互补；通过智能化配置，使能满足各种业务所需要的连接和网络。

管控智能化和能力开放：管控层是网络效率和安全性的核心，需要快速响应业务需求，准确提供网络资源，并能做到弹性扩容。管控智能化将实现网络"规、建、维、优、营"生命周期内的闭环自治，其主要含义包含三个层次闭环能力：

- **网络健康闭环：**基于光缆网实现5个9及以上的可靠而稳定的网络基础设施，显著降低故障时长，理想的情况是（1）管控系统能预测网络风险，在其导致承载的业务违反SLA之前，就主动对其进行消除。（2）在突发类网络故障发生时，通过自动化尽可能快的消除故障，目标是降低故障时间，提高网络可靠性。
- **资源规建闭环：**精确规划和部署资源，业务发放资源"0"等候，管控系统可以做到资源免人工调测、通过预测确保资源及时可用。
- **业务体验闭环：**包括开通前评估SLA能力水平，开通时指定SLA水平，在日常运维过程中自动化监控SLA指标，存在违反SLA承诺风险时可针对SLA进行优化。

管控系统还要支持能力开放，与协同器对接，把光网络核心能力开放给各种应用，支持变现。中国联通政企精品网基于成熟的国际IETF标准ACTN接口已经率先在国内实现光网络SDN化商用部署。

云光一体：面向党政军、金融、价值行业客户等接入行业云/专属云，提供一跳入云，稳定低时延，物理层硬隔离，安全承载，广覆盖快速开通服务，具有以下特征：

- 多种灵活业务接入，OTN CPE、MSTP等多种介质接入，使不同用户使用现有接入方式快速入云。
- 云光对接实现一跳入云，OTN直接与云池对接，端到端 ODU/OSU/VC等硬管道，满足行业客户高品质入云需求。
- 云光一站式开通，光网络管控系统实现入云专线发放自动化，云管平台实现打通云资源和云内网络，协同编排器实现光网络管控系统与云管平台的策略编排与协同，自动化开通云与网。

02 云时代的全光底座架构

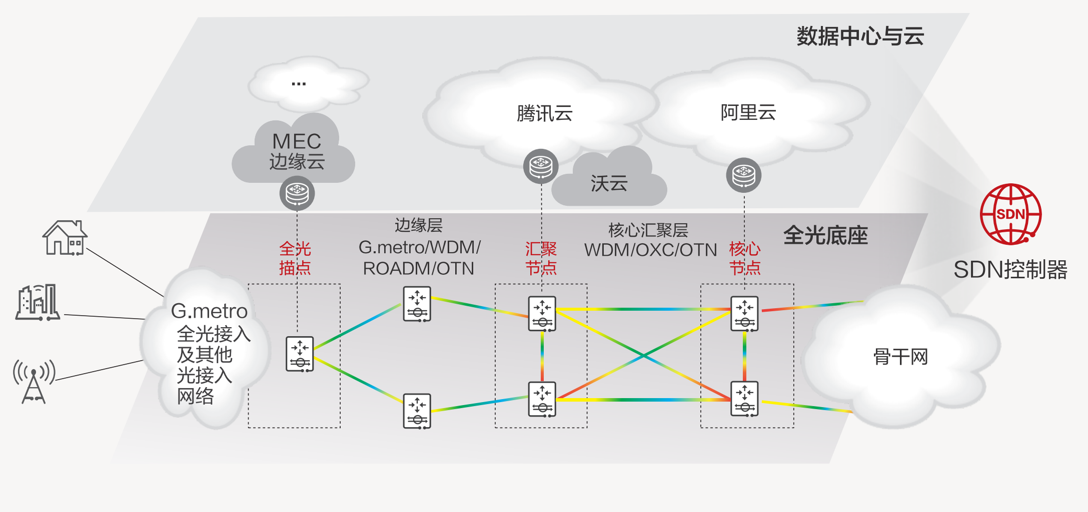
为适应光网络面向云化全业务综合承载的发展趋势，满足数字化转型和新型云业务的发展需求，中国联通提出了全光底座的架构和建网理念。

2.1 打造面向品质业务和云化转型的坚实全光底座

全光底座应具备如下关键能力：

- **架构稳定，极简，大带宽，可扩展：**全光组网，一跳直达，稳定低时延。传输容量持续演进，组网能力持续提升，灵活扩展，确保全光底座架构稳定。
- **全光锚点，全业务接入：**支持ETH/SDH/PON/OTN/WDM等多种接入技术，兼容现网，平滑演进。
- **光电协同，确定性承载，安全隔离：**基于L0/L1的硬管道技术，按需灵活协同调度，满足高品质业务的确定性承载及高安全业务的物理隔离需求。
- **端到端切片，一网多业务差异化SLA服务：**通过端到端切片，为家宽、移动、专线等不同品质需求的业务，提供不同SLA等级的承载服务。
- **云光协同，业务灵活入云：**通过与云网关的业务和保护层面对接，实现新型云化业务的云网协同部署和运维，品质成本双优。

图2-1 全光底座总体架构



“全光底座”凭借极简、超宽、智能特质，支持国家“新基建”战略和智慧城市转型，主要包括下面两个典型场景解决方案：

全光底座基础承载解决方案

- 面向传统家宽、移动业务，提供到城域核心的全光大带宽一跳直达管道，驱动网络扁平化，减少流量电层穿通，降低能耗，提升承载效率。面向专线等品质业务，提供光电灵活调度的确定性承载网络，兼顾业务品质与网络成本。面向DC云互联，提供灵活调度，灵活颗粒的光层组网能力，大幅减轻云化时代在站点选址和网络互联方面的压力。
- 基础承载方案关键特征包括：云间高速互联与传送，核心层扁平化全光Mesh组网，汇聚层光电混合灵活调度组网，锚点全业务接入，端到端高品质OTSN切片，采用了OXC、OSU、G.metro、城域极简光层、光纤频谱扩展、ACTN智能管控等创新技术，从而实现了更强的光层组网能力，更灵活的光电调度协同和更优的网络建设成本。

全光底座云光协同解决方案

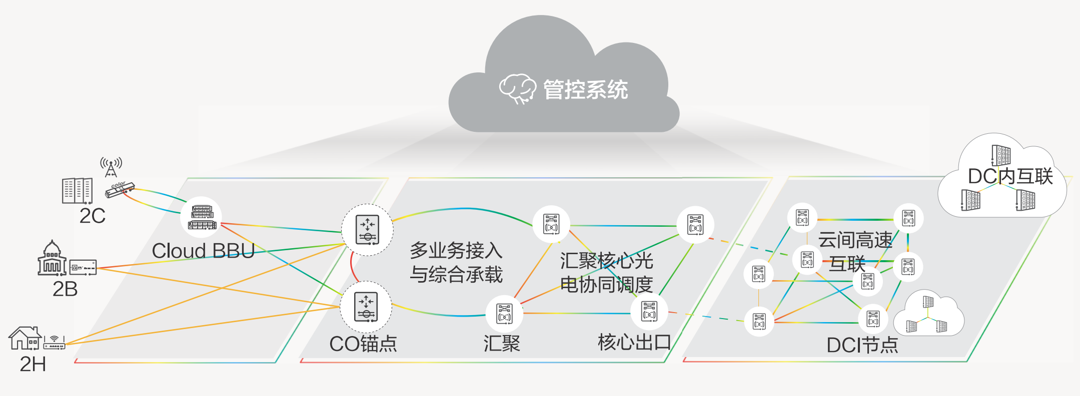
- 云光协同解决方案是在云化全光底座的基础上，为满足2B专线入云和2H品质视频入云等业务需求，通过动态管道协议的创新，在满足高品质业务入云承载的同时兼顾成本。云光协同方案主要包括：全光智能化锚点、全光动态管道调度、全光入云网关。
- 云光协同，网随云动。通过OSU灵活颗粒管道创新，动态入云协议创新，以及提供北向标准化开放接口，网络能力服务化，根据云端业务需求变化在线开通/调整，云网一站式受理，实现了传统OTN固定带宽管道向面向云化品质业务灵活OSU管道的代际升级，推动全光底座向云业务承载转型。

借助“基础承载”和“云光协同”两大技术解决方案，全光底座可以很好满足传统互联网业务大带宽承载诉求，又可满足如“品质专线”、“品质视频”和“5G 2B”等业务场景中对高品质承载的需求。

2.2 基础承载：综合承载，超高品质，超大带宽

基础承载解决方案架构如下图所示，包括四个部分： 云间高速互联、核心汇聚光电协同、CO锚点全业务接入、OTSN品质切片。

图2-2 全光底座基础承载网络架构



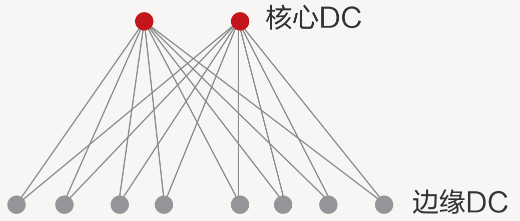
2.2.1 云间互联：超高速、灵活组网

干线及城域云间传送互联典型场景：

云间高速主要有干线DC高速互联和城域DC互联。

- 干线DC间为时延更优，以直达为主，减少中间转接，传输距离相比传统网络更远，DC间带宽在几百Gbit/s到Tbit/s级别。
- 城域DC互联，主要流量集中在OTT的城域DC间，DC间流量在Tbit/s级别以上，同城2-4个DC节点，以mesh方式互联。运营商的城域DC间，以星型连接为主，主要是边缘DC到核心DC间连接为主，DC间带宽较小，一般在几十Gbit/s到百Gbit/s间。

图2-3 城域DC典型组网拓扑

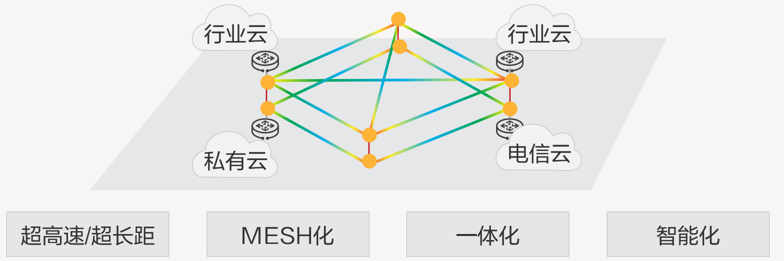


云间高速传送方案主要特征：

- **超高速/超长距：**单纤大容量，满足DC间大带宽需求，需逐步引入200G/400G以及未来更高速线路技术。同时考虑DC间直达传输，传输距离更远，需要具备长距传输能力。
- **Mesh化：**网络扁平化和光缆连接Mesh化，通过部署ROADM/OXC，业务可光层一跳直达，网络灵活弹性易扩展，DC间可按需选择最短路由直达。
- **一体化：**省干-城域端到端电层或者光层打通，减少背靠背电层转接，实现DC间在一张网络上调度。

- **智能化：**DC间业务带宽变化，需要具备快速调度能力。DC间业务双活、灾备等，需要业务可靠传输。部署智能管控系统，实现业务快速开通。部署ASON，支持抗多次断纤和秒级重路由，实现5个9的超高可用率。

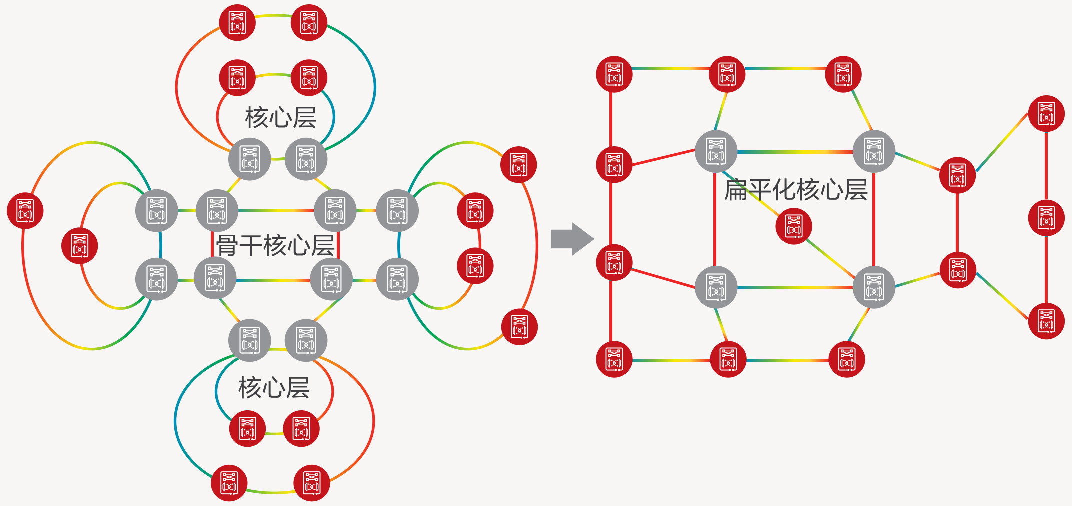
图2-4 云间高速传送主要特征



2.2.2 核心汇聚：扁平、极简、光电协同

城域核心：简化原有骨干核心两层组网，改为扁平化Mesh组网，引入OXC，相比原有的两层组网，单节点方向数更多，且为了灵活调度及后续平滑扩容，骨干核心节点可采用32维的OXC，普通核心节点可采用20维及以上OXC。核心节点同步使用OTN，实现波长级大颗粒、子通道级小颗粒协同调度。在新型组网架构下，任意节点间波长直达调度，减少了层间转接，大幅降低机房空间和功耗。小颗粒通过OTN调度，提升带宽利用率。通过上述组网方式及业务调度方式优化，实现光电协同的极简架构与极致性能。

图2-5 城域核心组网扁平化演进



光层系统：支持C波段扩展，且支持平滑演进扩展到C+L波段，支持多频段持续扩展。支持Flexgrid组网，兼容多种码型，支持灵活组网应用，实现全场景承载方案最优。

城域汇聚：引入波分环组网，使用1方向1槽位的极简化光层和低维度ROADM，与核心OXC组成光层调度网络，实现快速组网，可便捷加减站点。大带宽波长级业务，从CO锚点到城域核心/DC云节点一跳直达，低时延、低功耗。

光层模块：支持100G/200G/400G及以上等多种模块速率，支持16QAM、QPSK等多种码型，基于站点流量情况，灵活选择最优光模块方案，CO节点推荐优选100G/200G光模块，城域汇聚优选200G/400G光模块，城域DC间互联优选400G及以上光模块。

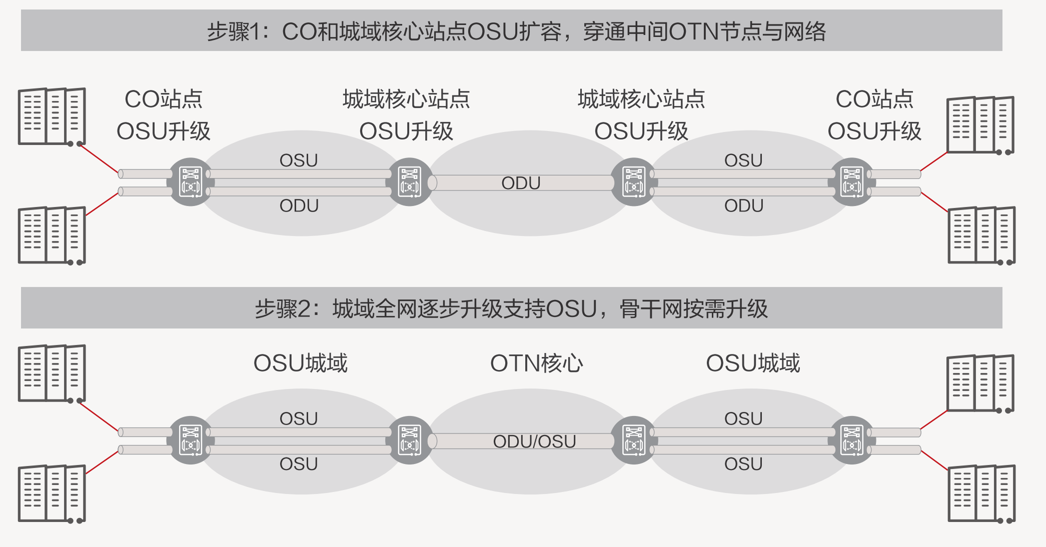
电层系统：城域汇聚&核心均按需部署OTN电调度节点，平滑升级支持OSU管道，将ODU划分成最小2Mbit/s的更小带宽颗粒，满足中小颗粒业务的组网调度应用需求。在城域核心节点，根据实际业务量，可考虑部署OTN集群，提升核心节点组网调度能力和核心节点可靠性。

OSU支持OTN现网平滑演进：OTN设备集成ODU&OSU的混合调度，新业务采用OSU管道承载，现网业务采用ODUk管道承载。新业务采用OSU封装后，进一步适配到低阶ODUj，然后复用到ODUk/Cn进行传送，从而支持穿通网络中未升级支持OSU的OTN节点和设备，实现网络平滑升级，分步骤演进。

第一步，城域OTN网络优先升级CO综合接入站点和城域核心站点支持OSU，中间穿通的OTN节点及骨干OTN网络仍然保持不变，通过将OSU映射到ODUk中穿通现有网络，实现现网兼容。

第二步，将城域OTN各穿通节点，逐步升级到支持OSU，实现全网承载技术归一，简化架构，增强组网灵活性，提升转发性能。骨干网络以大颗粒调度为主，可以视业务未来发展，逐步升级支持OSU。

图2-6 OSU网络平滑升级

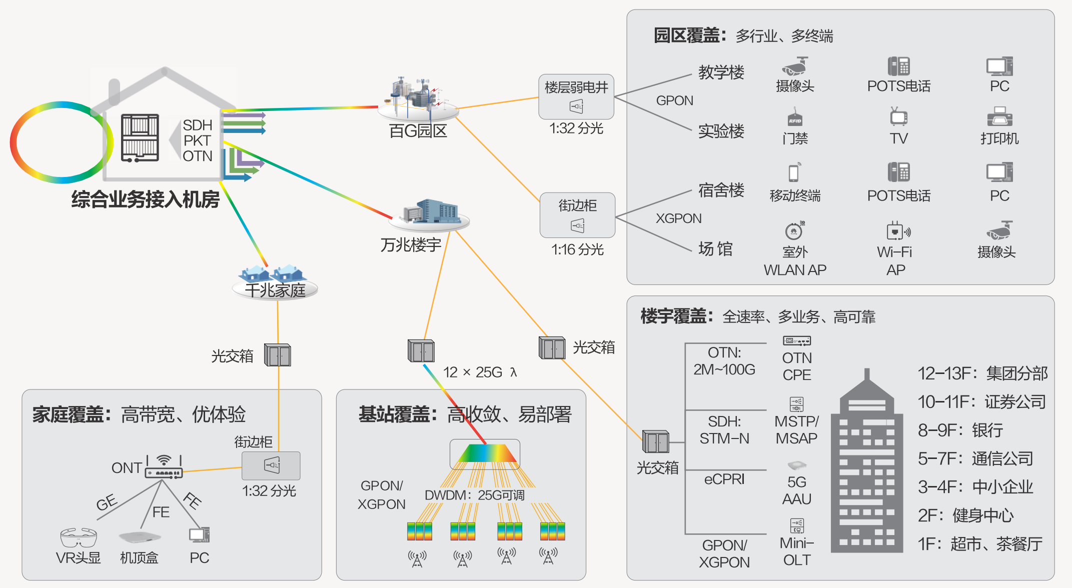


综上，业务部署建议大颗粒业务，原则上就光不就电，光层一跳直达到目的地，成本功耗最优，性能最优；中小颗粒业务，原则上优选在城域核心统一交换调度，对时延等性能有超高要求的业务，网络预留在汇聚节点交换调度的能力，以最大限度降低承载网时延。

2.2.3 全光锚点：多业务、广覆盖、优体验

全光锚点：是连接客户侧接入设备与全光底座的枢纽节点，在CO锚点负责多种接入技术协议转换到统一的ODU/OSU管道及DWDM，简化网络侧承载技术和组网架构，节省机房空间（设备功能多合一），提升部署运维效率。

图2-7 全光锚点综合接入架构



末梢站点综合接入：依托中国联通牵头的ITU-T G.698.4（前G.metro）标准及技术，支持10G/25G DWDM组网，适用末端光纤紧张场景，且具备良好的带宽扩展能力，满足接入站点未来5~10年的带宽扩展需求。

5G前传承载：前传站点与4G时代回传大多共站址，BBU集中部署到接入汇聚机房。前传站点到BBU集中部署机房物理上环形组网，类似4G回传组网拓扑。5G初期，以点到点快速覆盖为主，1站1芯，考虑联通电信共建共享，建议优选G.metro 25G DWDM可调模块前传方案：兼顾纯无源灵活部署及有源的丰富运维能力。5G建设中后期，1芯多站提升单芯容量，环网保护提升前传网络可靠性的需求会突显。

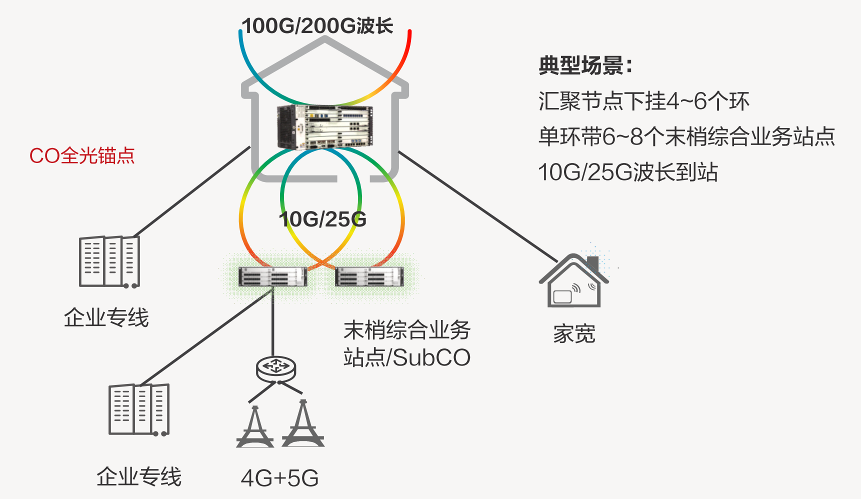
专线接入：支持SDH/MSTP接入组网与保护，兼容现网平滑演进，在CO锚点将业务转换到ODU/OSU管道中；支持ODU/OSU管道接入，提供端到端灵活颗粒度的硬管道组网，高品质、高安全；支持点到多点灵活接入，借鉴ODN组网技术，大幅降低末梢覆盖的光纤消耗及覆盖难度，降低最后一公里覆盖难度，大幅提升专线开通速度。支持端到端发放业务，业务带宽无损调整（BOD），末端CPE支持即插即用，兼容多供应商CPE，有效降低运维难度，快速部署。

高集成度极简光层：高集成度光电一体化综合承载解决方案：汇聚机房光方向较多，通过全集成光层实现1个环光层只占1U空间，减少对机房占用。

推出25Gbit/s创新速率，兼顾成本和效率、提升系统集成度。

锚点环境适应性要求高，通过功耗降低和集成度提升，支持极简高集成度室外柜部署。

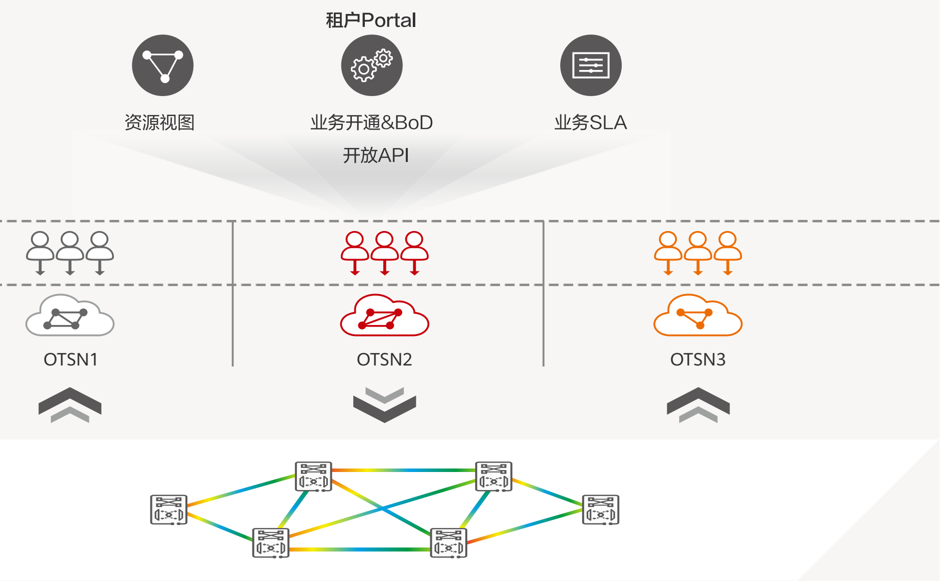
图2-8 接入极简光层组网



2.2.4 OTSN 端到端切片：超高品质，极致体验

全光底座切片解决方案（OTSN－Optical Transmission Slicing Network）包括：租户层，切片资源管理层，网络硬件转发层。

图2-9 OTSN方案



租户层：用户操作其网络切片子网的入口，一般由运营商OSS系统对外提供APP的形式实现。运营商可以通过权限管理，给用户提供租户智能切片资源管理层中的部分或全部功能。

切片资源管理层：针对不同租户（如医疗、金融等），提供独立的切片资源管理运维能力，各租户间的资源互相隔离，各租户间操作互不影响。

租户智能切片资源管理层的具体管理功能包括，在所划分的切片子网内，进行业务/保护等基本配置操作，网络拓扑和业务状态查询操作，业务告警、性能管理操作，切片子网的资源可视管理，时延地图管理，业务SLA的设置与监控等。

除上述功能外，资源管理层还支持针对本租户智能切片资源管理层应支持北向开放，可继承到OSS系统中，供最终用户通过APP Portal方式调用使用。

网络硬件转发层：全光底座支持多种颗粒度的切片，包括网元级、单板级、端口级、波长级、ODUk级、OSU级等。通过网络中各设备节点，基于上述一种或几种资源的组合，构成端到端切片的解决方案实体物理承载层。

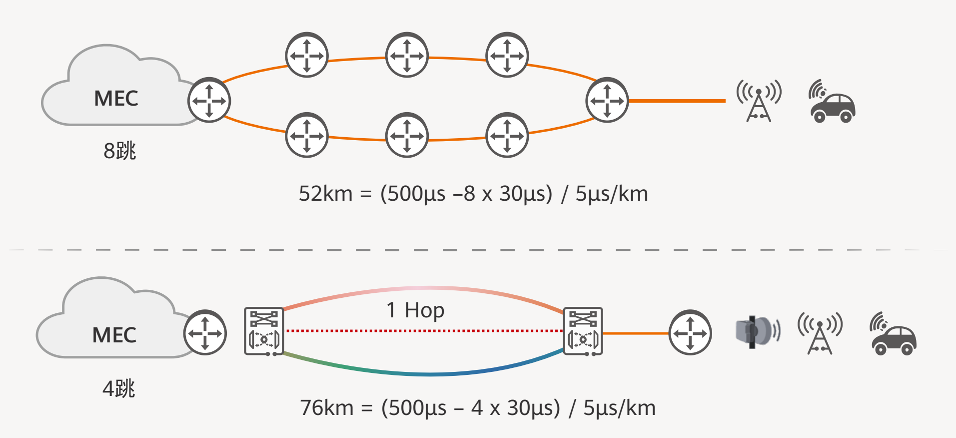
- **波长级切片：**基于物理端口速率级别的波长切片。
- **ODUk切片：**基于OTN封装体系，支持从ODU0到ODUCn级别的切片管道，带宽调整步长1.25G。
- **OSU切片：**基于OSU封装机制，支持10M到线路端口线速的硬管道，带宽调整步长10M，端到端都是OSU管道情况下，支持端到端带宽无损调整。

基于全光OTSN切片的确定性承载：通过上述切片技术的灵活组合，实现一网多用，为不同品质业务提供差异化承载服务。极致确定性承载的关键内涵：

- **极致时延的业务转发确定性承载：**由于L0/L1管道不受网络拥塞影响，通过线路侧端到端 L1/ L0及L0+L1混合承载，可以提供时延、抖动可承诺的承载管道。针对时延敏感类业务，可通过端到端 L0调度，提供极致低时延承载。

  如下图所示，MEC组网场景下，车到MEC网络侧单向时延需求500μs，假设网络中各设备转发时延均为30μs，则OTN一跳直达网络MEC可部署在离末端基站76公里位置，传统多跳网络MEC需下沉到距离末端基站52公里位置。按覆盖面积计算，一跳直达方案所需MEC站点数大幅减少，如果考虑分组设备拥塞引入时延，则一跳直达方案简化MEC站点数量效果更为显著。

图2-10 MEC承载方案对比分析



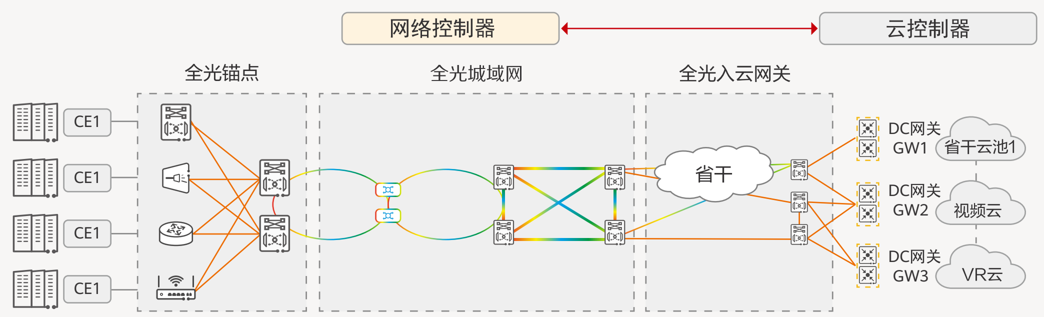
- **极致可靠的网络保护确定性承载：**全光底座架构支持光电层1+1保护、光层ASON、电层ASON、光电混合ASON等多种保护方案，可根据业务可靠性需求及建网目标成本综合考虑，灵活选择。
- **极致高精度的网络时钟同步确定性承载：**全光底座光层支持单纤双向传送技术，有利于简化1588v2时间同步工程部署复杂度、缩短开通周期，满足5G承载及垂直行业应用对时间同步的差异化诉求。

2.3 云光协同：品质业务，灵活入云

云光协同方案目标架构包括全光智能化锚点、全光动态管道调度、全光入云网关三部分。云光协同解决方案关键价值特征如下：

- **极简网络，极致入云体验：**OTN一跳入云， 稳定低时延。OTN网络时延接近物理极限且可以为每租户承诺稳定的时延值，并支持网络端到端时延可视可感知，支撑运营商网络视频特性等变现。
- **多元保护，高可靠入云对接组网：** 采用SNCP 1+1/1:1实现业务双路由保护，倒换时间小于50ms；采用ASON技术实现多路由快速保护恢复，可与SNCP结合使用；入云网关跨域双归保护对接，实现百毫秒级快速恢复，提升跨域对接组网可靠性。
- **入云业务快速、灵活接入：**接入侧多介质承载（MSTP/MSAP/PON/OTN/WDM等），用户快速接入；云端网络预覆盖，一点接入，全网入云。

图2-11 云光协同方案架构



2.3.1 全光智能化锚点：边缘业务智能感知

典型场景：1、所有业务全部接入OTN全光CO锚点，由OTN全光锚点基于AI和预配置等机制，识别不同品质需求的业务，分流到不同的承载管道或网络切片；2、OTN全光锚点的客户侧接入设备，如OLT/OTN CPE等，识别不同品质需求的业务并分流到不同的L1或L2层承载管道或网络切片。

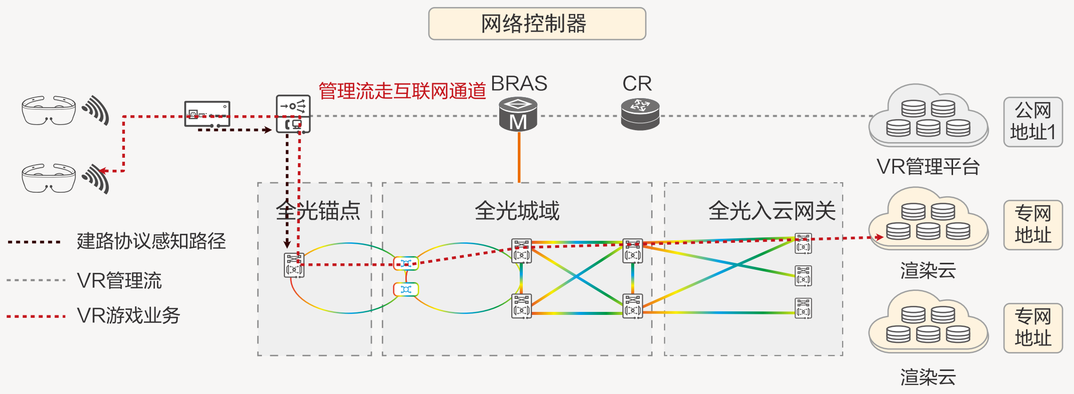
解决方案：1、针对业务流的标识特征静态识别方案，特点是使用简单，业务分流准去度可达100%；2、基于AI芯片和算法的大数据特征模糊匹配识别方案，特点是智能化程度高，但目前准确度无法达到100%，需要进一步探索研究。

主要价值：在针对业务品质分流后，云光协同解决方案可以定制SLA策略，分配相应的管道或网络切片，提供相应品质等级的承载服务；在一张承载网上同时满足不同品质诉求和成本诉求的业务承载，实现高性价比的一网多用。

2.3.2 全光组网调度：管道动态建路与调整

应用场景：面向2H场景的品质业务，如VR视频、云游戏、4K高清视频等，需要支持按业务或应用驱动管道建立与动态带宽调整，从而达到确保业务承载品质的同时，兼顾网络成本。

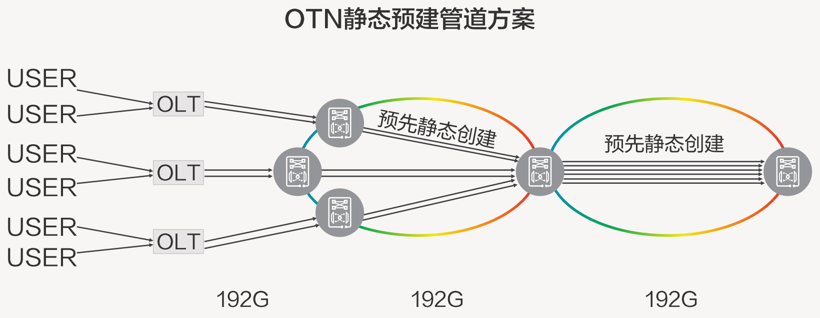
图2-12 OTN承载CloudVR方案架构



解决方案：应用驱动，按需动态管道：基于用户及业务或应用的上下线信息，实时驱动OTN网络动态按需提供硬管道带宽，实现在提升网络承载效率的同时，提供超低时延/零卡顿极致体验保证。为确保用户的初始点播请求等操作体验，要求动态管道建立连接和带宽调整性能达到百毫秒~秒级。

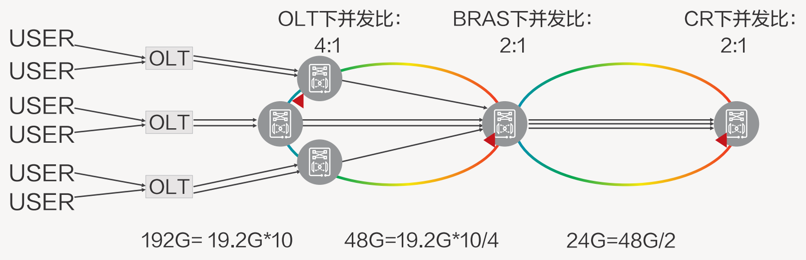
主要价值：动态管道协议通过感知业务的实际带宽需求，动态建立及调整承载管道，在硬管道品质的基础上，实现并发处理业务，达到管道带宽收敛的效果。 如下图所示，假设全光锚点OTN下挂10个OLT，每OLT 云VR视频峰值19.2G，OLT做4:1带宽收敛，BRAS做2:1带宽收敛，CR做2:1带宽收敛。则OTN静态管道接入段、汇聚段、核心端都需建立192G刚性管道，采用动态建路调整基数，仅接入段需建192G管道，汇聚段仅需48G，核心段仅需24G，端到端网络承载效率提升50%以上。

图2-13 OTN静态和动态管道对比分析



更多资料，欢迎访问 www.wenku120.com

OTN按需建路与调整方案



2.3.3 全光入云网关：对接云网关，一跳入云

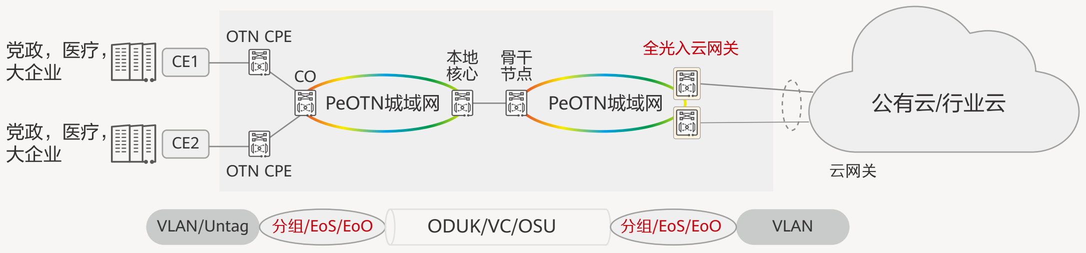
全光入云网关节点，负责OTN网络与云网关对接组网，云端业务反向映射入管道，及跨域保护。

云网关业务路由感知：全光入云网关节点直接对接云网关，实现一跳入云，需要全光入云网关节点和OTN接入侧设备具备业务路由感知能力，支持在OTN网络边缘基于业务路由灵活分流进OSU管道，全光一跳转发到云端，实现VR/企业一点接入随选入多云。

全光入云网关节点与云网关保护对接：全光入云网关节点需要支持口子型双归保护，与云网关对接，倒换时间<50ms，确保OTN网络入云业务的可靠性和可用性，如下图所示。

云网协同，网随云动：OTN网络提供北向标准化开放接口，网络能力服务化，根据云端业务需求变化在线开通/调整，云网一站式受理。

图2-14 品质专线入云方案架构

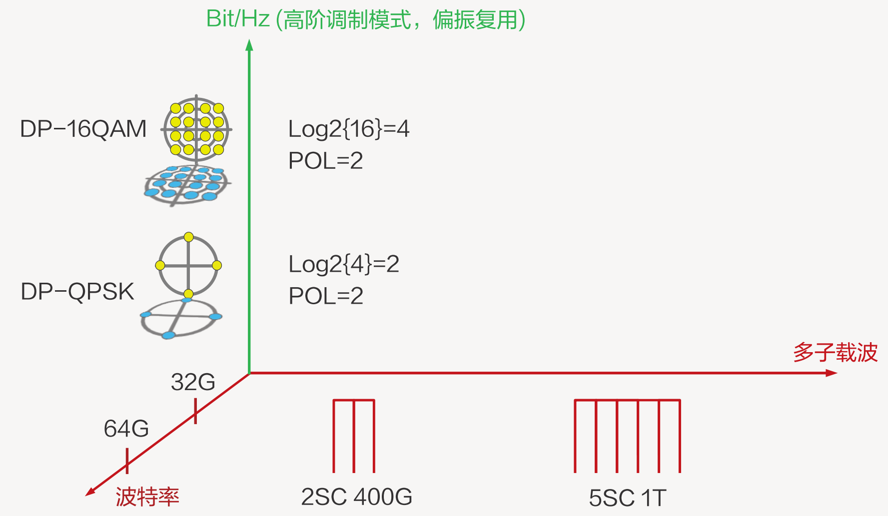


03 全光底座关键技术

3.1 高速传输

200G/400G/800G等高速线路传输技术在100G基础上进一步提升网络容量、降低每比特光传输成本和功耗，有效地解决运营商面临的业务流量及网络带宽持续增长的压力，要提升线路速率，主要手段包括提高线路波特率、使用高阶调制和多子载波。

图3-1 高速传输关键技术



200G/400G：目前200G 16QAM技术已成熟，在50GHz通道间隔下，相比100G实现容量翻倍，但传输距离明显减少。200G QPSK可实现长距传输，但需使用75GHz通道间隔传输。单波波长400G 16QAM业界已有少量商用，目前主要在城域点到点场景。

硅光技术：传统光器件多采用分立方式实现，硅光集成技术可利用硅基制备除光源外的各种光功能器件，并利用了现有成熟的微电子加工工艺(CMOS)规模化和自动化生产，即通过单一工艺流程实现整个器件的制备，从而实现器件小型化、低功耗，并提升生产效率。基于硅光集成的100G/200G模块已规模部署。

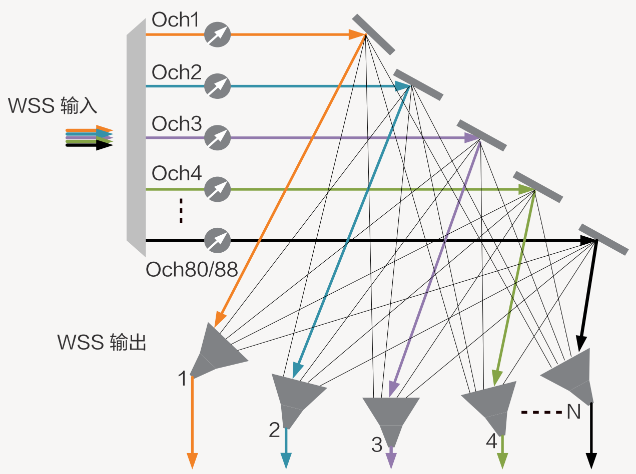
3.2 全光交叉技术（OXC）

随着网络带宽快速增长，在核心业务调度节点，对单节点的交叉调度容量需求越来越大， 需要采用低功耗、高集成度、超大容量的全光交叉调度技术。

3.2.1 全光交叉关键技术

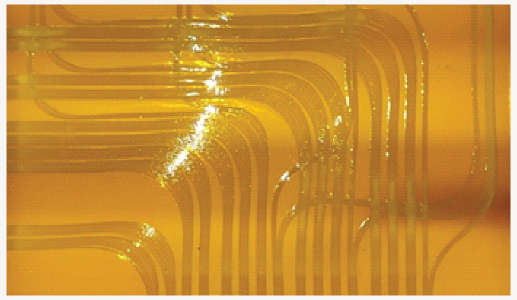
高维度波长选择开关：WSS（波长选择开关）是目前ROADM系统中商用最多、技术最为成熟稳定的一种光交叉器件。如下图所示，WSS主要功能是将通用端口输入的不同波长信号灵活交叉到任意一个线路端口输出，从而实现可重构功能，目前主要技术实现有MEMS（微机电系统），LC（液晶）和LCoS（硅基液晶）三种。LCoS和LC是当前主流WSS器件，LCoS更适合高维度灵活栅格应用。

图3-2 WSS架构原理



光背板技术：光背板技术是一种在背板上实现高密度光纤互连的技术，特点是将光纤布线后封装到柔性板材中，实现背板上各光接插件单元间的高密度光纤互连，如下图所示，该技术已在中国联通现网商用。

图3-3 光交叉设备光背板示意图

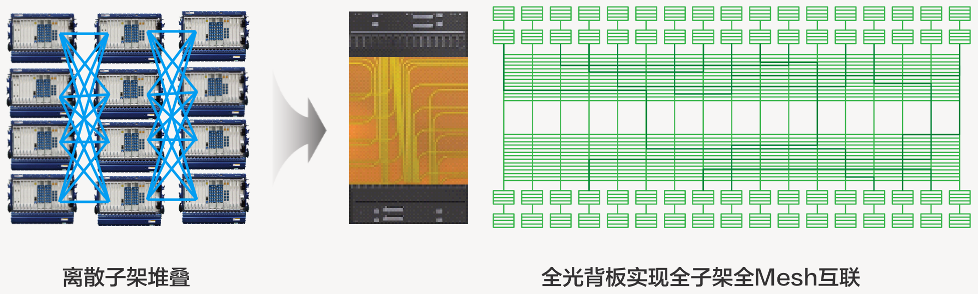


3.2.2 全光交叉设备

全光交叉设备具备如下优势：

站内零连纤：通过光背板实现板卡间Mesh互联，即插即用，灵活调度，平滑扩容。

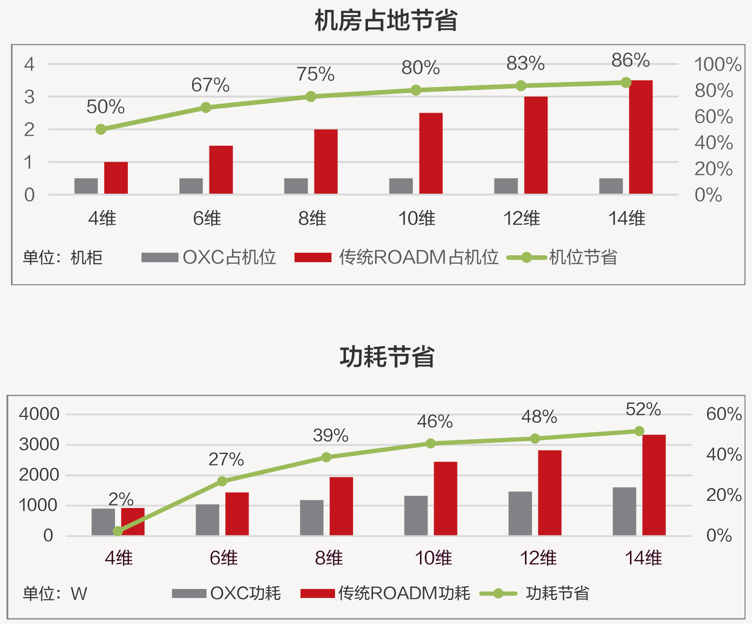
图3-4 全光交叉设备对比



超大容量：可支持高达32维度调度，实现Pbit/s级别的波长调度。

大幅节约机房空间和能耗：OXC设备超高集成度，可以大幅节约机房空间和功耗，以8维站点为例，较传统ROADM系统，可以节约75%机房空间、40%供电。

图3-5 全光交叉设备与传统ROADM设备空间和功耗对比



更多资料，欢迎访问 www.wenku120.com

3.3 光纤频谱扩展

为实现200G/400G等高速长距传输，以及多业务综合接入，需要充分利用现有光纤资源，扩展光纤频谱，提升光纤使用效率。

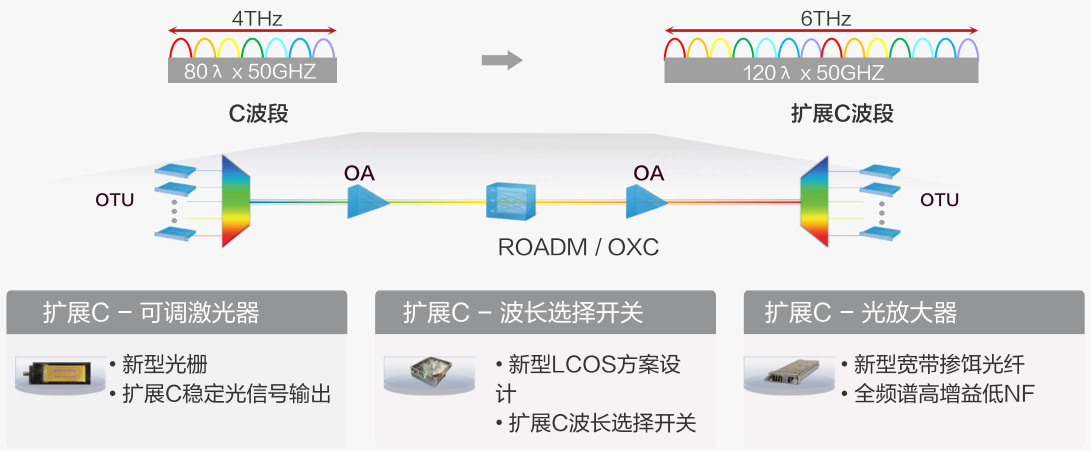
3.3.1 骨干层面：C波段到扩展C波段，以及C+L波段

扩展C波段：把常规C band 4THz频谱，扩展到6THz，实现频谱增加50%

C+L波段：在C波段/扩展C波段基础上，进一步扩展L波段，则相当于C波段容量增加一倍。

需要同时把激光器、光放大器、WSS、分合波等端到端光器件进行频谱扩展，实现多频段扩展大容量传输应用。

图3-6 光纤频谱扩展示意



扩展C波段方案，单纤容量提升50%，整体传输性能不变

3.3.2 接入层：多波段传输

面向前传、专线、边缘DC等多业务接入，可采用C波段和O波段等多波段共纤传输，如下表所示。

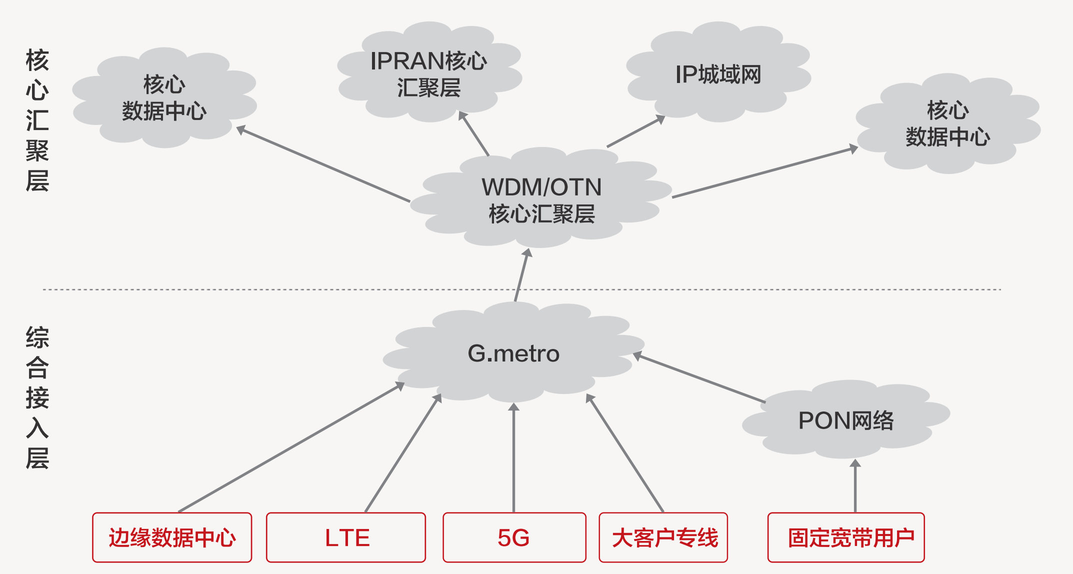
表3-1 光纤多频谱分布表

波段	O	E	S	C	L
波长范围(nm)	1260-1360	1360-1460	1460-1530	1530-1565	1565-1625
C波段				35 nm	
C+L波段				95 nm	
全波段	365 nm				

3.4 G.metro

DWDM技术下沉是光网络发展趋势，中国联通联合华为以及国内外主要运营商设备商共同在ITU-T制定了面向城域综合承载基于DWDM技术的G.698.4标准（前G.metro），将低成本DWDM技术进一步下沉应用于城域边缘接入层，包括移动前传、室内分布和CPE专线接入等应用场景，提供光波长级连接的硬管道，实现波长即业务（λ as a service，λaaS），打造接入层综合WDM系统，高效利用城域接入层光纤频谱资源，提高纤芯利用率，较好地解决城域多业务综合接入对接入主干光缆和配线段光缆的光纤芯数依赖，降低不必要的光缆超前建设，减少基础资源的无效沉淀和折旧，从而使得网络规划和建设更加经济合理。

图3-7 G.metro综合多业务接入架构



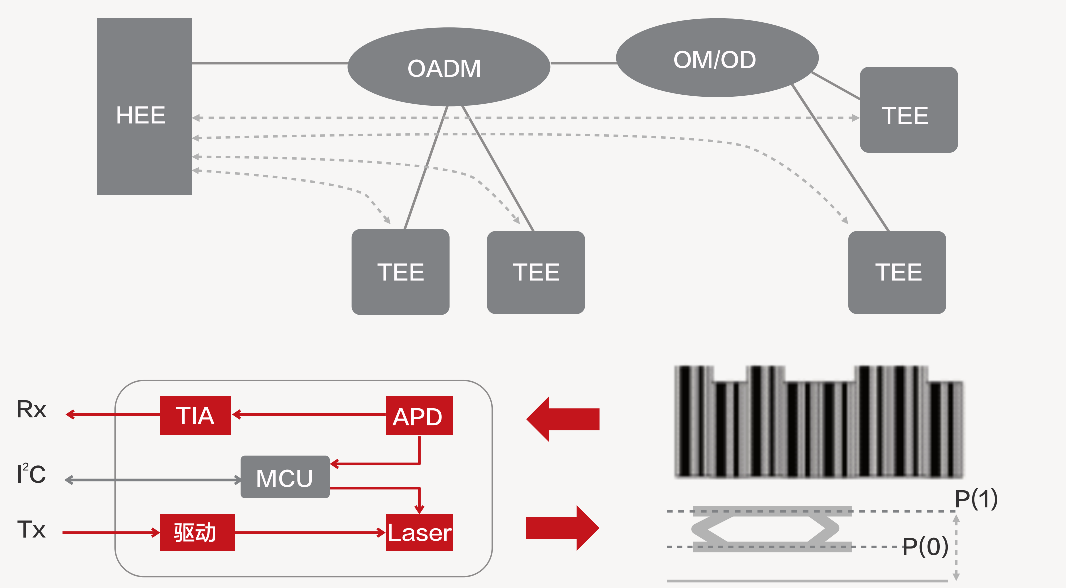
该技术采用波长可调谐DWDM光模块，具备端口无关，波长自适应特性，系统容量大，且极大简化网络建设和运维，其主要优势：

1、采用可调谐激光器，光模块型号归一化，与合分波器间任意连接，不需要一一匹配，不存在波长识别等问题，安装维护简单，即插即用，备件种类和数量少。

2、基于G.698.4标准规范的消息通道（HTMC/THMC），实现简洁有效OAM，具备光功率/波长/温度等实时监测，以及告警和环回等快速故障定界功能，提升综合接入网络维护手段和能力，可实现对综合接入网络的有效管理，提升运维效率。

3、支持有源和半有源等多种型态灵活部署，独立或多平台集成（WDM/OTN）部署，充分利用机房资源。

图3-8 G.metro系统OAM及技术实现



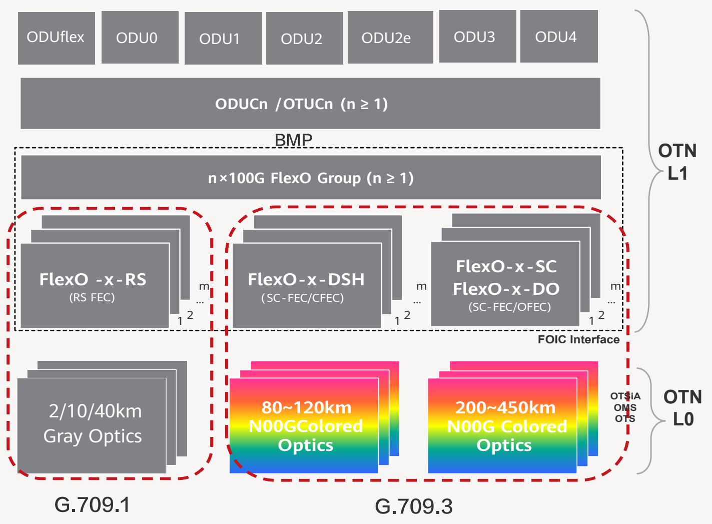
3.5 FlexO

FlexO是用于OTUCn与波长速率之间互联的接口技术（OTUCn定义的是超100G帧结构）。通过FlexO技术实现OTN客户侧任意速率灵活映射捆绑到多个100G或超100G线路上，可用于超100G网络的域间互联。

与传统OTN的区别：

- **层次结构：**FlexO相比于传统OTN的OTUk（k=0，1，2，3，4）多了OPUCn/ODUCn/OTUCn三个层次。
- **帧结构：**FlexO定义了特殊的FlexO开销和FlexO的FEC编码方法。

图3-9 FlexO帧结构



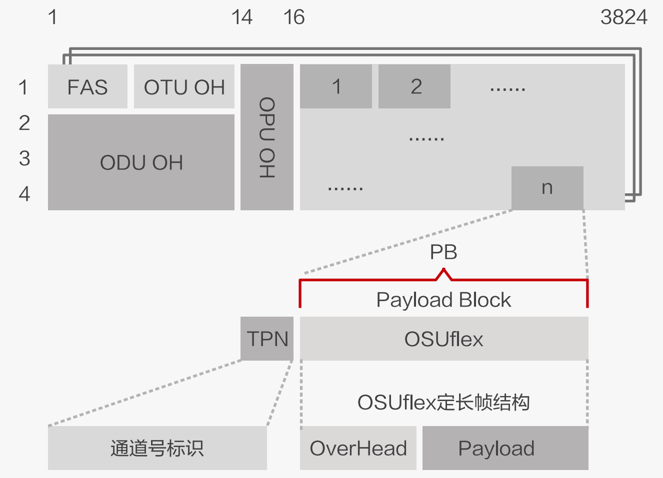
3.6 OSU 灵活管道

传统OTN光网络技术，主要用于承载大于1Gb/s速率的业务，而面向低速率、小颗粒业务承载，面临着如带宽颗粒太大、连接数量不足、管道不够灵活、时延过大等诸多挑战。

3.6.1 OSU技术帧结构

OSU技术在现有的OTN架构体系基础上，定义面向业务的灵活容器单元OSU，采用定长帧灵活复接方式，将ODU划分成更小的带宽颗粒，实现了兼容现有WDM、OTN、MSTP光传送网络的高效承载，OSU兼容现有的OTN标准架构体系，因此不仅能够实现Mbit/s颗粒级业务的高效承载，还能兼顾1G以上业务承载需求。OSU基本接口结构如下图所示：

图3-10 OSU帧结构

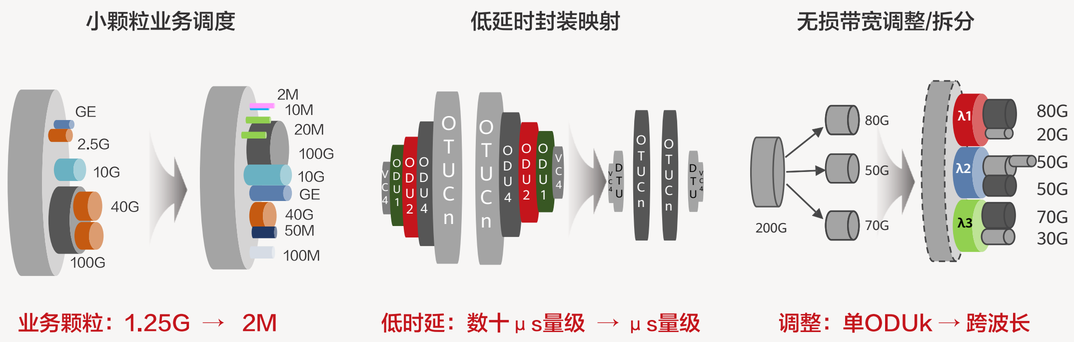


OSU采用了定长帧、灵活时隙复接，将ODU划分成更小的带宽颗粒

3.6.2 OSU技术主要价值

OSU技术将ODU0划分成最小2Mbit/s的更小带宽颗粒，业务颗粒度缩小500倍；简化封装映射结构，多级复用变一级复用，转发时延10倍级降低，同时支持OSU管道带宽无损调整。

图3-11 OSU主要优势



OSU与现有其它承载技术对比如下表所示。

表3-2 不同承载技术对比

	OSU	传统OTN	传统SDH	FlexE	MPLS-TP
链路商用最小颗粒	2Mbit/s	ODU0/1.25Gbit/s	VC12/2Mbit/s	1Gbit/s	64Kbit/s
最大通道数@100Gbit/s线路	1000	80	40320	100	64k量级
确定性时延	是	是	是	是	否
多业务能力	任意类型业务	任意类型业务	任意类型业务	ETH、CES仿真	ETH、CES仿真
链路隔离方式	时隙物理隔离	时隙物理隔离	时隙物理隔离	时隙物理隔离	标签逻辑隔离
现网兼容	是	是	是	否	是

3.7 全光底座控制面协议

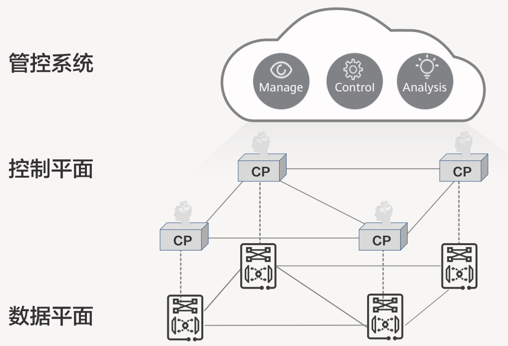
3.7.1 集中加分布式架构

随着SDN出现，网络控制面架构发生了变化，逐步走向集中+分布的模式：

- 集中SDN可实现全局资源最优的业务路径计算，提升资源利用率。
- 分布式全光业务网/ASON控制协议优势是敏捷高效执行，可以在几十毫秒级感知故障并快速做出反应，类似于神经系统对网络状态的变化做出自然条件反射的快速响应，其主要能力为：自动发现快速感知，故障高速倒换自愈，以及快速连接建立等。为支持百毫秒级到秒级的高可靠极速恢复，分布式全光业务网/ASON控制协议是必不可少的。

基于集中+分布式架构，全光业务网控制协议面向品质专线，综合承载网络以及高速DC互联等场景，提供海量联接，超高可靠性，智慧运维的能力，满足客户业务自动化和业务高可用诉求。

图3-12 集中+分布管控架构

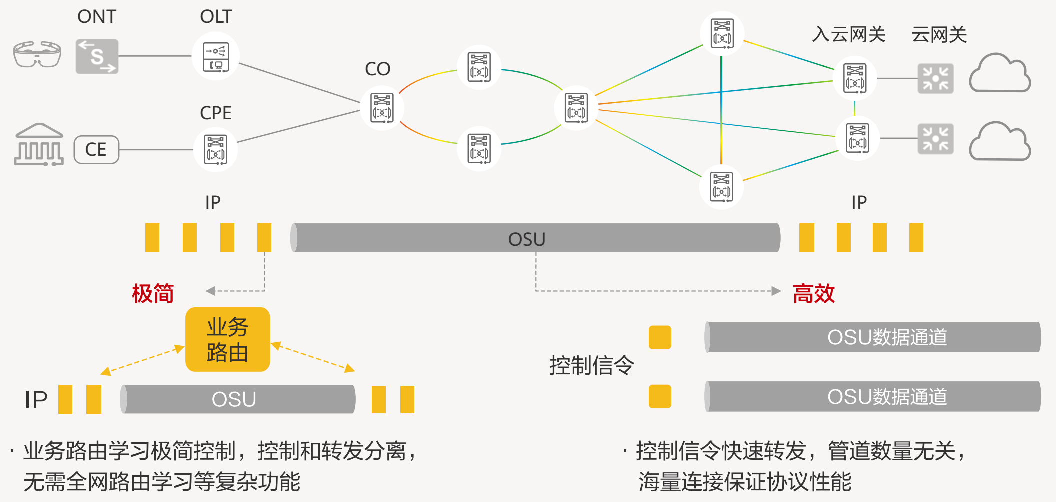


3.7.2 全光底座控制协议

光网络从管道网向业务网演进，面向全光业务网的协议需要从管道控制延伸到业务控制，管道控制需要从传统的OTN管道扩展到支持OSU灵活管道。面向全光业务网的新一代控制协议，旨在实现从用户到云的端到端自动化，智能化，高可靠全光业务网，支持业务随选一跳入云，云间按需互联，保障业务体验，支撑云光一体战略，实现全光底座架构。

协议设计理念：极简和高效

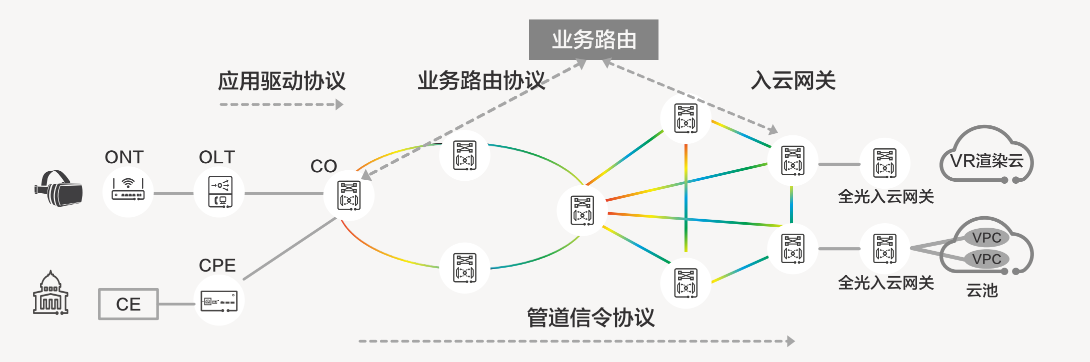
图3-13 动态控制协议设计理念



协议架构和关键技术：

- **业务路由协议：** 业务路由学习，基于业务路由自动映射进管道，使能OTN从点到点专线连接到多点到多点专网连接。
- **应用驱动协议：** 接入设备和OTN设备协议握手，OTN处理带宽服务请求，驱动业务管道建立或带宽调整。实现硬切片网络带宽时分复用，质量成本双优。
- **管道信令协议：** 控制信令快速转发，性能同管道数量无关，海量连接保证协议性能，支持OSU管道多次断纤确定性保护。

图3-14 动态控制协议架构



3.8 端到端高精度时钟

5G网络根据所承载的业务类型不同，3GPP对基站空口间的时间同步提出了不同指标要求。如下表所示：

表3-3 5G网络时间同步需求

业务类型	5G时间精度要求
MIMO&TX diversity（无需全网支持）	65 ns
带内连续载波聚合（无需全网支持）	±130 ns
带内非连续载波聚合（无需全网支持）	±1500 ns
带间载波聚合	±1500 ns
TDD基本业务	±1500 ns

5G基站可以通过北斗/GPS获取同步参考作为主用，采用基于1588v2技术的精确时间同步协议作为备用，解决5G基站的时间同步需求。

IEEE 1588v2标准是一个广泛的高精度时间同步协议，适用于通信、工业、电力等多个行业领域。ITU-T G.827x系列标准在基于IEEE 1588v2基础上，在BMCA算法、时钟质量等级参数、报文封装等方面做了优化和限定，尤其是采用与物理层频率（在G.826x系列标准中规范）相结合的方式（SyncE+PTP），适用于电信领域。

5G回传 IP+光承载网场景中，同步方案有两种选择，第一是光网络设备逐跳处理PTP报文，第二是光网络设备透传PTP报文。实际网络测试表明，采用透传方式不能满足超高精度的时间同步要求，尤其是光网络设备掉电重启后，引入不确定且极不易处理的FIFO水线变化，带来下游节点的处理难度，严重影响时间信号精度。

光网络逐跳同步网络架构如下图所示，光网络设备可通过与智城域设备业务板直连的OTN支路板对接锁定上游智能城域设备输出的频率和时间信号（SyncE+PTP），光网络内部推荐采用OSC光监控信道传递同步信息，建议采用基于OSC的单纤双向免补偿高精度时钟同步传递方案，提供开局免调测、保护倒换免调测，熔纤免调测的能力。

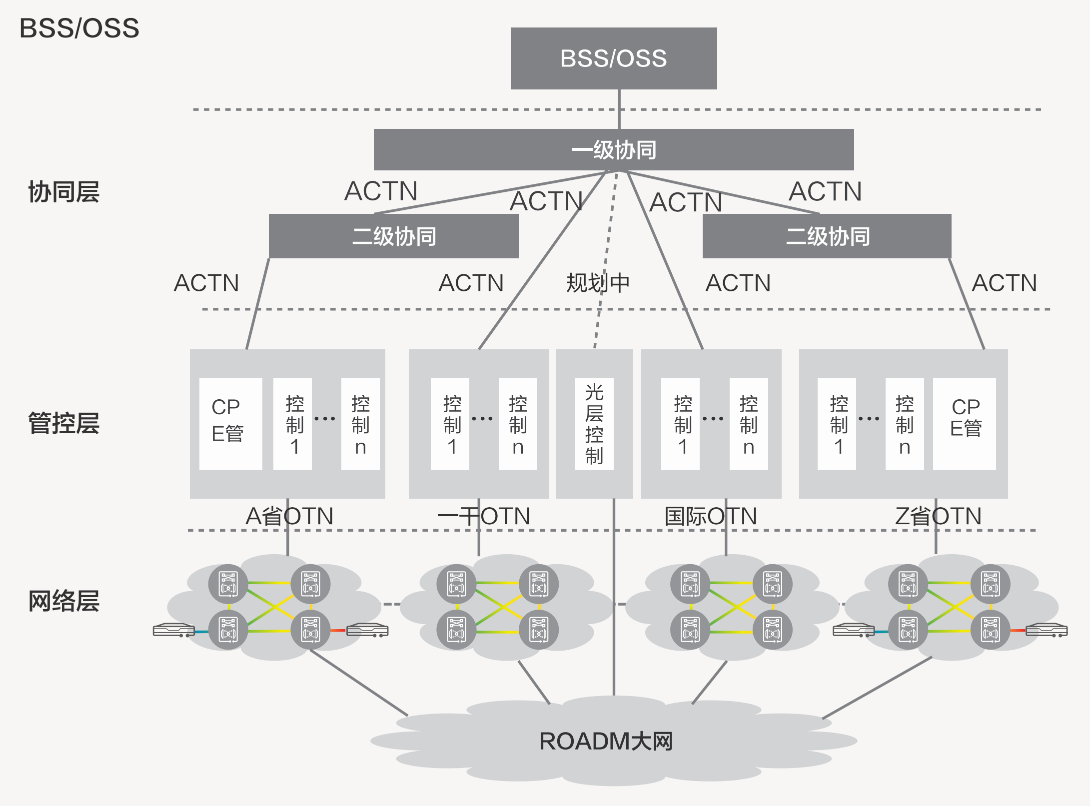
图3-15 全光底座时钟同步传输方案架构

04 智能管控

4.1 智能管控架构实现全流程运营自动化

全光底座智能管控采用分层架构，通过协同器协同各厂家管控系统，实现跨域跨厂家网络端到端自动编排和协同，基于标准化ACTN北向接口，提供开放、快捷、分层的OTN/WDM业务发放和运维能力。

图4-1 智能管控架构



4.1.1 二级协同层实现全国一张网

业务协同器系统统一协同控制OTN网络全域的各控制器，实现OTN网络能力开放，支持跨域跨厂商业务端到端自动发放。

业务协同器系统采用二级架构，按省分权分域设置，二级协同负责省内多域控制，一级协同对各二级协同、骨干及国际控制器统一协同。主要功能如下：

1、北向对接资源管理和调度系统，接收电路调单信息，并在电路开通完成后对业务性能、业务状态及业务端到端逻辑路由进行拼接和上报；

2、南向支持对接多厂商的OTN控制器以及CPE管控系统，实现全域资源管理和路径计算、业务配置分域拆解和下发等功能。

4.1.2 ACTN接口实现业务快速开通、覆盖全生命周期运维

管控一体化系统是对网络设备全生命周期进行管理、控制和分析的自动化平台，通过集成传统网管和SDN控制器的功能，支持对SDN网络和非SDN网络的统一管控，充分发挥SDN网络的自动化优势，并基于大数据平台对整网质量和流量数据进行全景可视和深度分析，保证网络的长期稳定运行，实现对网络的智能运维。另外，管控一体化系统可提供标准的北向接口，支持以RESCONF协议与协同层进行对接，供上层系统灵活整合、重用和组合管控系统已有的综合管理和智能控制的能力，快速定制开发创新业务或应用。

智能管控系统的北向接口目前主要包括：

SDN-ACTN接口：在本架构中，涉及到ACTN的两种接口：

1、MPI接口位于协同器和智能管控系统之间。协同器系统可以调用MPI，通过管控系统向物理网络发起创建新连接的请求，或者是修改连接带宽的请求，该接口主要有两种用途：

- 协同器系统通过该接口下发指令到智能管控，进行省内和骨干等业务的开通，并且提供业务级性能、告警、状态等配置及监测能力。
- 协同器系统将跨省业务分解为单省的分段业务，通过该接口下发指令到智能管控系统，进行跨省业务的开通，并且提供业务级性能、告警、状态等配置及监测能力。

2、MMI接口是指协同器系统层间接口，位于一、二协同器系统之间，一级协同器系统通过该接口下发指令到二级协同器系统，进行跨省业务的开通，并且提供业务级性能、告警、状态等配置及监测能力。

MTOSI接口：该接口是为智能管控系统对接OSS而设计的国际标准接口，基于SOAP协议，用于物理存量、业务存量、业务通知和监控使用。在业务开通之前，OSS通过接口同步物理拓扑，在业务开通完成之后，OSS通过接口同步业务的存量。对于有多域协同（即有一级协同器）的项目，资管从各智能管控系统获取分段业务的路由信息，并且在资源系统获取端到端路由。

4.2 业务网管理

4.2.1 快速业务发放

通过网元的同步接口实现对整网资源、业务的实时感知，为专线业务快速发放提供了算路基础。管控系统提供的业务、资源等逻辑抽象能力，特别适合大网管理场景的效率需求。

提供业务套餐，将业务的所有固定属性放入套餐中，减少重复工作，简化业务配置，套餐可以创建、修改、发布和下线。业务套餐可以由经验丰富的专业人员设计，由无高级技能的人员执行，降低技能依赖。

用户只需要选用符合场景的业务套餐，指定源宿节点，填写带宽等少量参数，业务快速发放将会根据客户诉求，自动计算满足客户需求的业务路径，并支持跨层驱动路由创建，从而实现业务的分钟级快速发放。

快速业务发放还提供最小时延、最小跳数、最短路径等丰富的路由策略，以及包括必经节点/链路、不经节点/链路等多种路由约束，满足客户多样化的需求。

此外快速业务发放还支持光电层协同，即在创建电路时同步创建服务层通道，提高业务发放的效率。

4.2.2 时延可感知、可销售、可承诺和可保障

时延管理是基于网络链路和节点的时延测量/估计数据的综合应用，以实现网络时延/业务时延的可感知、可销售、可承诺和可保障。

时延管理基于OTN帧开销中的时延测量比特位进行测量计算出时延信息，并感知网络站点时延变化进行数据更新，可以减少资源确认时间和提升业务发放效率，既可以为运营商提高利润，也满足了专线用户业务快速上线、简易运维的诉求。

时延管理包括时延地图、基于时延算路、时延查看、时延运维等。

- **时延地图：**基于网络拓扑显示站点间时延，支持指定源、宿点查询多条可用路径的时延，支持导出路径时延报表。当网络站点间时延变化时，拓扑时延数据会进行更新。
- **基于时延算路：**业务发放时支持基于时延进行路径计算，支持最小时延策略算路，支持指定时延门限算路。
- **时延查看：**在业务基本信息中，可以查看业务时延指标等信息（业务有保护的， 可以查看工作路径和保护路径时延）。
- **时延运维：**当业务实际时延超过设置的时延门限时，上报时延越限告警。

4.2.3 可用率可视、可评估和可优化

业务可用率依托OTN产品的自动光纤测距和同缆SRLG检测能力，基于RBD（可靠性方框图，Reliability Block Diagrams）计算，计算业务工作路由、保护路由、预置路由的逻辑框图后，根据各光纤的可用性计算得到业务可用率。

业务可用率包含可用率地图、可用率算路、可用率评估和可用率规划等。

- **可用率地图：**图形化展示网络站点间链路可用率，SRLG信息，并按照颜色区分链路可用率等级。
- **可用率算路：**业务发放时基于节点/光纤的可用性指标，自动计算满足可用性SLA的专线路径。

- **可用率评估**：自动量化评估光网络和L0~L2业务的可用性指标，通过数字化呈现，识别出风险业务和路径。
- **可用率规划**：根据可用性目标自动规划保护路径，按需提升光网络业务可用性，提升网络价值和专线品质。

05 多场景适配与开放组网

5.1 多样化的设备型态，匹配不同场景的灵活部署

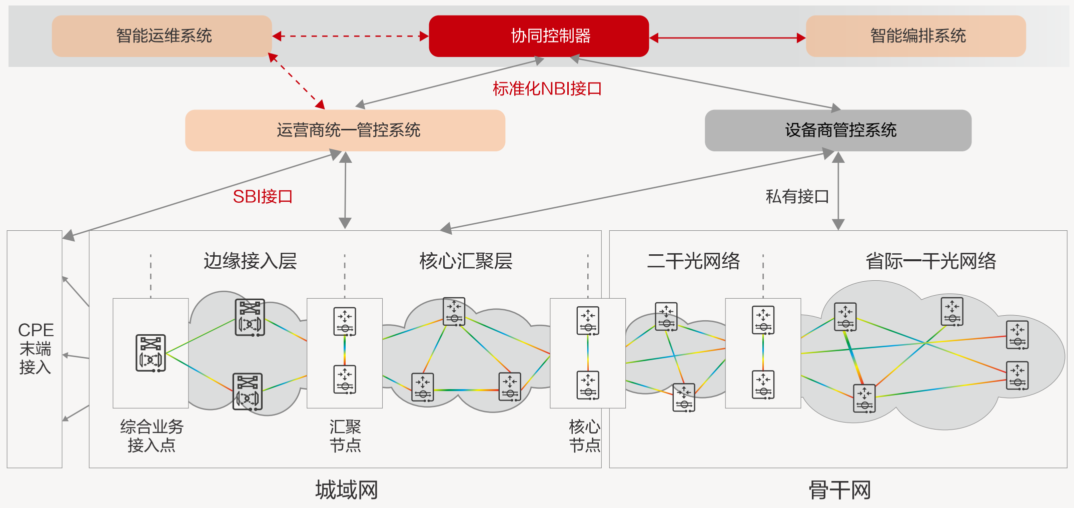
随着业务流量持续攀升，推动波分逐步向更多、更边缘、更广的区域部署，但边缘节点、数据中心等节点与传统骨干、核心机房工作条件有很大不同，空间布局、供电、散热出现很多新的要求，传统波分全量功能形态越来越难以满足新增场景的需要。因此未来全光底座需要应对多样化要求，比如面向室外部署的自然散热型态、面向边缘节点的一维一单板型态、面向综合接入的光电集成型态、面向数据中心的模块化波分等新形态，多样化设备形态匹配不同场景的灵活部署和简易运维，丰富全光解决方案，更好地服务千行百业。

图5-1 多样化设备型态

5.2 开放组网，加速业务发展

随着全光底座从城域核心向边缘接入层覆盖，为了进一步提升网络建设灵活性，并降低建网成本，光网络将基于标准化南北向接口，以及统一管控和协同器等，引入开放的建网思路，探索支持多供应商的全光底座，加速业务发展。

图5-2 开放组网架构



06 全光底座应用和典型案例

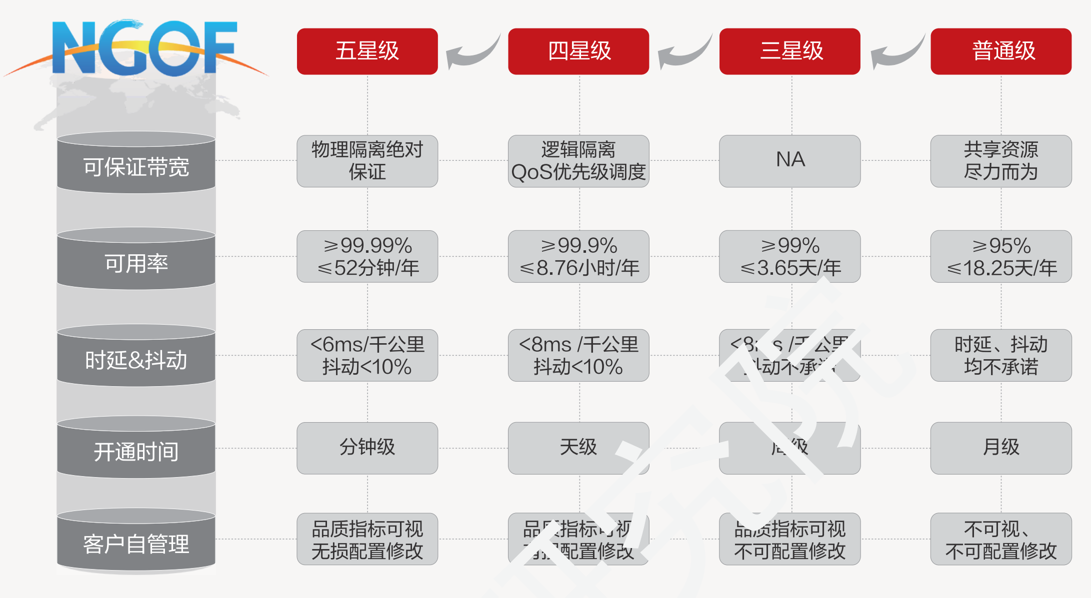
6.1 专线承载解决方案

6.1.1 品质专线5星标准体系定义

新一代光传送网发展论坛（NGOF）基于对政企客户需求的调研分析，从可保证带宽、高可用率、低时延&低抖动、业务敏捷以及在线自管理5个维度定义了高品质专线的五星指标体系。

中国联通研究院

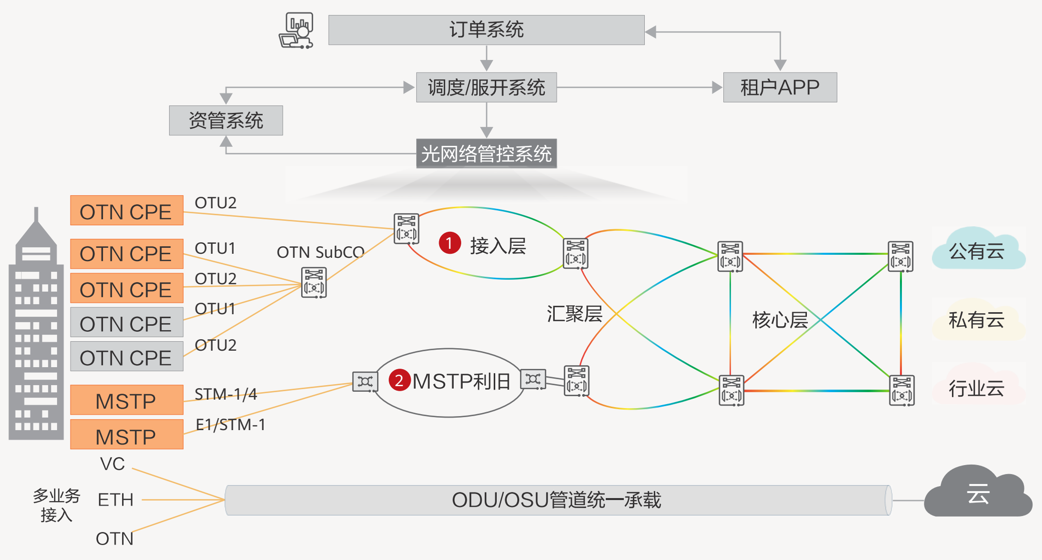
图6-1 品质专线 SLA指标体系（NGOF）



6.1.2 基于OTN技术的下一代专线业务网架构

从品质大网、品质接入、品质感知和云网一体四个维度构筑下一代品质专线网架构，最终实现租户可灵活入网、灵活入云、入网即入云的高品质体验：

图6-2 品质专线承载架构



品质大网

- **一跳直达，时延最低：**核心层Mesh化组网，汇聚层按需MESH化，例如跨区调度业务量比较大，或者两个区之间时延敏感类企业比较集中，可直接打通两区汇聚层，以实现低时延调度。
- **高可靠：**核心汇聚层通过ASON协议实现抗多次断纤故障，提升网络健壮性。
- **归一化灵活管道承载：**使能基于OSU的小颗粒OTN，实现从2Mbit/s到100Gbit/s的专线带宽灵活无损调整，支持SDH、以太网、包交换和OTN交换等已有业务种类颗粒，以灵活高效、业务无损等优势满足市场需求，在保障极致体验的同时，减低业务消费的门槛。

品质接入

- **局端综合承载能力：**基于工具分析业务热点区域，采用OTN精准覆盖局房。局房节点向上需具备1+1 10G/100G双上行保护能力并与大网对接，向下需具备灵活接入能力，提供E1/ETH/STM-N/OTN/WDM等接口直接接入业务，同时提供OTU接口与SubCO/OTN CPE互通，并具备对接现网已部署的MSTP设备能力，做到业务平滑迁移，租户免打扰。
- **SubCO点开放对接能力：**考虑到用户分支节点数量庞大，会存在多厂家CPE部署，因此需部署SubCO节点并实现与三方OTN CPE的开放对接能力，做到业务的管理、配置互联互通；向上具备OTU2能力与局端对接。SubCO节点同时要具备安全隔离、认证的能力，防止单CPE异常导致大网瘫痪。
- **OTN CPE灵活多样化：**针对企业客户的多样化诉求，需提供灵活的OTN CPE模型，客户侧接入端口能力如E1、ETH、STM-n，与用户设备对接；线路侧具备OTU1/OTU2双上行提供1+1保护能力。同时OTN CPE需具备上电即通能力，降低人工配置运维成本，提升用户感知。

品质感知

- **品质属性租户可视：**引入智能化管控层，售前提供自动化业务创建、业务资源实时可视、基于时延等策略按需算路、动态带宽在线调整等能力；售后阶段可快速感知网络故障并提供及时的恢复手段，如故障推送、故障快速倒换等能力，做到对用户业务影响最小。
- **网络能力开放：**智能管控系统遵循ACTN北向接口，支持对接上层协同层或应用层，实现跨层、跨厂商业务以及能力开放，打通O/B域流程，提升运营效率。

云网一体

- **云端预覆盖：**OTN设备需提前覆盖所有云池，并打通OTN设备与云池网关之间的直接连接，云端OTN设备与云池网关之间可提供跨板卡LAG、跨节点保护对接能力，提供更高的可靠性，云端OTN设备作为末端节点与政企OTN网络互连，需具备识别云池业务并智能化转发业务到对应的用户接入端或者另一个云池的能力；
- **末端灵活接入：**企业分支点部署OTN CPE设备接入到政企OTN网络，OTN CPE设备需具备识别用户业务并智能化转发业务到目的云池OTN设备的能力。一个接口接入的业务，目的可能会到多个云池，OTN CPE需具备智能化转发业务到不同云池的业务分发能力。

6.2 视频承载解决方案

差异化全光视频承载方案包括四个主要特征：OTN与OLT对接，OSU动态管道，OTN与云对接，视频体验可视化。其中主要的技术需求包括：

1、OTN与OLT对接

- **ONT支持双通道：**多WAN上行，为不同视频业务建立不同WAN口，能根据业务特征进行分离承载。
- **OLT L3网关：**支持DHCP relay，为精品业务WAN口分配专网地址。
- **OLT与OTN直接对接：**OTN能通过VLAN区分不同业务, 进入不同OTN管道，简化了网络架构，提升业务质量。

2、OSU动态管道

支持OTN管道动态建路，带宽按需调整，业务灵活映射转发，满足视频业务多用户并发的承载要求。

3、OTN与云对接

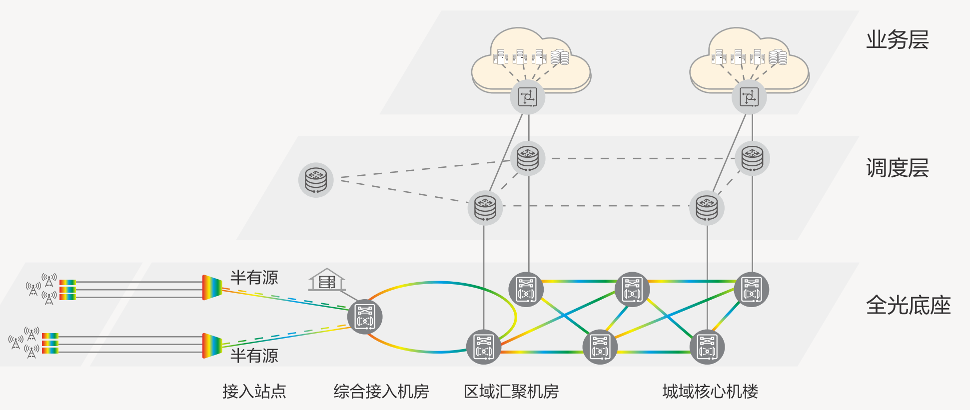
- **VR游戏/云游戏一跳入云，**提供最低时延的管道，满足云游戏、云VR确定性低时延的要求；
- **直播视频一跳入云：**采用ODUk广播技术，将IPTV业务直接推送到OLT，实现0丢包分发。

4、视频体验可视化：

支持动态按需管道的管理，管道利用率可视、空闲资源可视；支持最小毫秒级粒度业务级和管道级流量统计。支持业务指标KQI/KPI的可视化，支持视频业务的诊断、问题快速分析。

6.3 移动承载解决方案

图6-3 移动承载解决方案



6.3.1 前传

考虑联通电信5G共建共享，初期采用CWDM或G.metro DWDM点到点组网。未来演进到DWDM环形组网，支持25G/50G波长，提供至少20波，波长可调，实现支持环网保护的高可靠多业务综合前传。

G.metro前传方案特征和价值在于：

- **光纤极省：**支持6*25G和12*25G接入，容量较传统CWDM提升2~4倍。
- **运维简单：**支持轻量级光层OAM，实现光纤故障和模块状态监控；支持DWDM波长可调模块波长自动适配，免波长规划，减少彩光模块备件的种类和数量。
- **可靠性高：**支持光层1+1保护，满足5G 2B业务至少99.99%可靠性要求。

6.3.2 回传

针对回传网络大带宽、低时间、高精度时钟关键诉求，可建立一张IP+光的5G全光承载架构， IP实现业务灵活调度，光层实现大带宽、低时延和高精度时钟同步。

IP+光承载方案具备如下特征和价值：

- **100G/200G/400G大带宽：**提供超大带宽资源池，站点带宽独占，利用率高，单站点可独立扩容。
- **一跳直达、低时延：**光层节点穿通，电层业务一跳直达，至少减少4~6个节点时延损耗，支撑MEC部署在区域汇聚机房及核心机房，降低MEC节点数量。
- **时钟基座：**基于OSC单纤双向传输技术，提供端到端免补偿的10~30ns高精度时钟同步方案。
- **端到端5G 2B高品质传送：**接入节点将小颗粒高品质业务流导流到OTN平面，为工业控制类场景提供低至2Mbit/s颗粒度端到端硬管道，且保证管道带宽无损调整。
- **6个“9”超高可靠：**IP层保护与OTN层ASON保护叠加，端到端组网可靠性可提升到6个“9”，满足工业控制场景的极致高可靠要求。
- **主备路由光缆同缆监测：**避免IP层工作隧道和保护隧道因同光纤导致保护功能失效。

6.4 典型案例

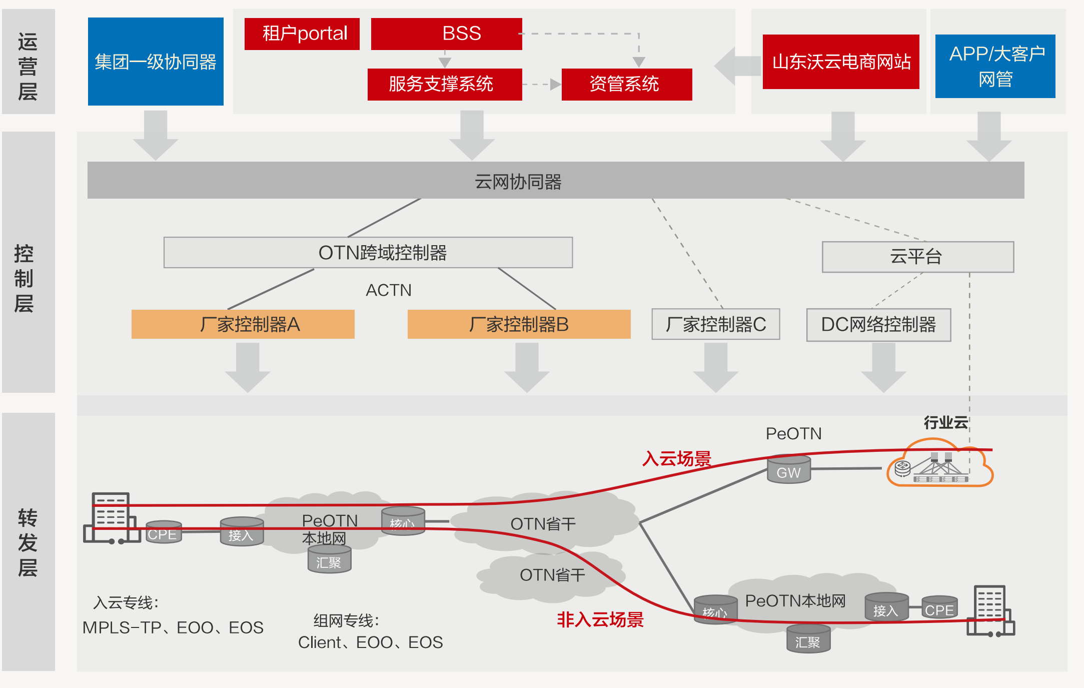
6.4.1 全光入云品质专线

山东联通发挥优质的OTN政企精品网全光连接优势，打造与OTT差异化云网融合能力，提供优质的全光入云品质专线产品。

山东联通在架构上采用全光Mesh化组网，端到端全光底座实现全光调度，同时末端OTN下沉到CO，OTN CPE到客户办公室，实现端到端PeOTN和末端全光化，入云专线业务做到光层一跳直达，实现超低时延，同时PeOTN可以和MSTP设备无缝对接，实现MSTP网络的平滑演进。同时山东联通针对云网流程合并重构，云网协同业务由政企中台进行统一受理，由编排器先开通云侧业务，根据云侧返回参数再开通网络侧业务，实现云网同开同停。

中国联通研究院

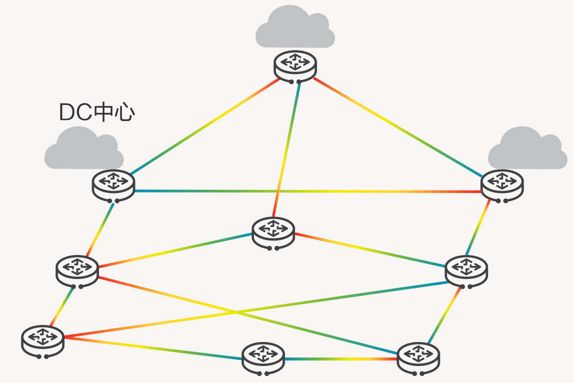
图6-4 山东联通全光底座云专线承载实践



6.4.2 高速云间互联

广东联通以全光底座为基础，构筑一体化OTN全光网络，将DC中心和扁平化的全省干实现ROADM/OXC光层互连，取消本地转接，减少传输成本，实现DC与DC之间，DC与传统网络之间光层一跳直达，大大降低了传输时延，提升业务传输效率。DC中心和核心节点启用ASON，使网络可靠性达到5个9，同时端到端采用智能管控实现业务的快速发放和灵活调整。以全光底座为架构的网络，很好的满足了广东联通DC流量不断增长以及快速灵活的需求，为以DC为中心的建网方式提供一条有效途径。

图6-5 广东联通全光底座云间互联实践

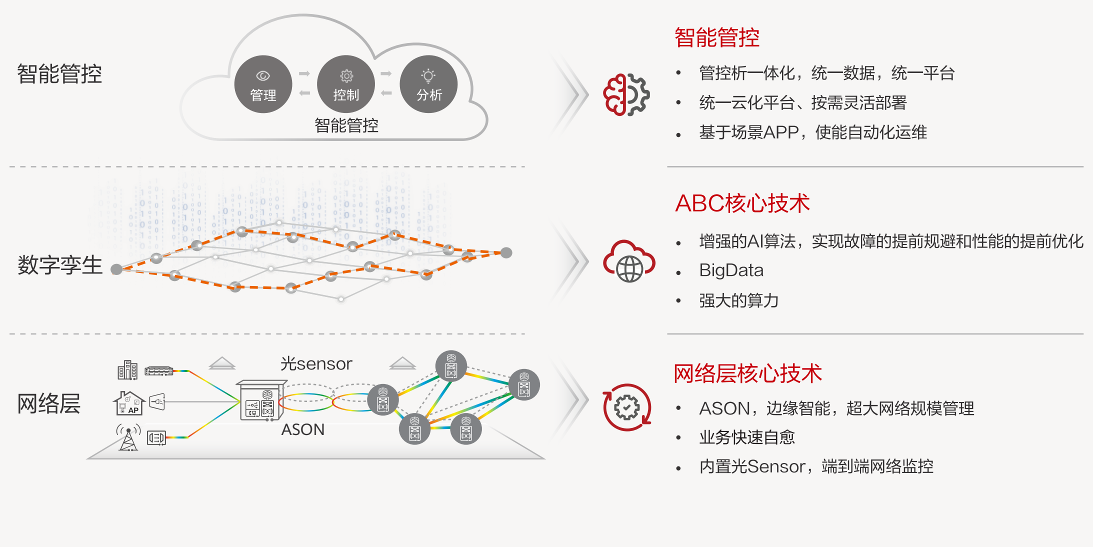


07 全光底座智能化

面对运营商在转型过程中对网络和业务的挑战和诉求，光网络急需引入智能化能力，实现智能全光底座，从而全面推进光网络迈向以用户体验为中心，打造商业意图驱动、全生命周期端到端自动化的闭环系统。达成管道变现，提升业务体验，节省网络运维成本，商业价值最大化。

如下图所示，智能化全光底座架构包括网络云化引擎，设备边缘智能，ABC核心技术，以支撑全生命周期自动化的应用。

图7-1 智能化全光底座架构图

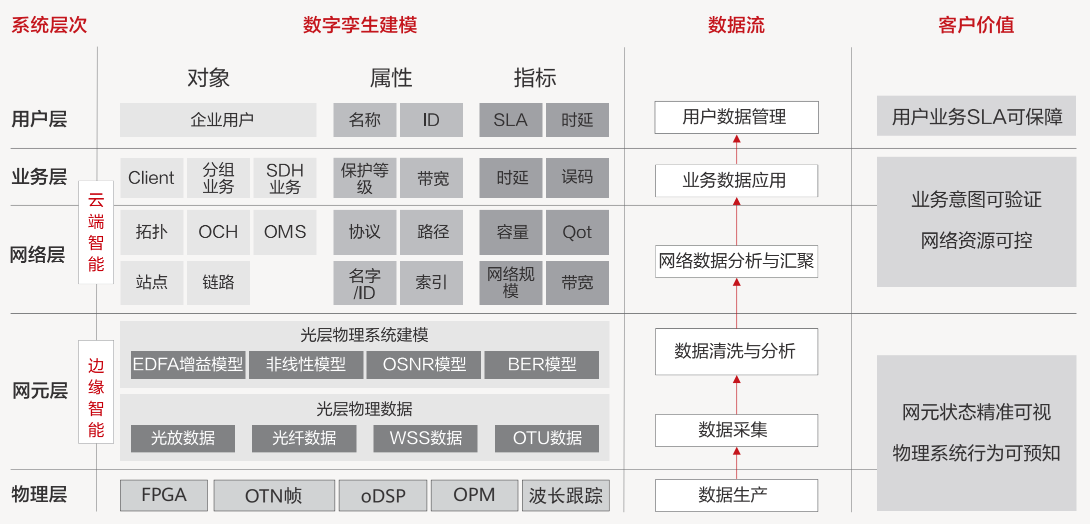


7.1 数字孪生&哑资源数字化

光网数字孪生（Digital twin），指在信息化平台内模拟物理实体、流程或者系统，是实体系统在信息化平台中的数字映射、镜像。借助于数字映射，可以在信息化平台上了解物理实体的状态，甚至可以对物理实体里面预定义的接口元件进行控制。

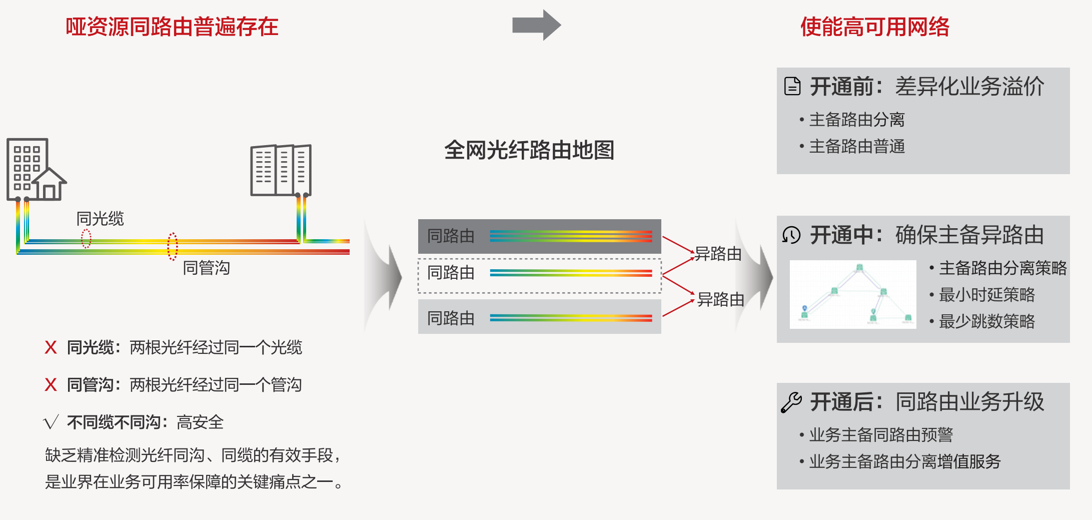
光网络是一个模拟网络，光网络的数字孪生是在物理网络上建立一个镜像数字网络，能够实时反映网络资源的状态以及业务的运行状态，从而有效支撑资源可视以及健康保障。

图7-2 全光底座数字孪生原理



例如通过哑资源数字化对底层光缆资源进行全盘管理，实现对光纤潜在带宽资源的可视和管理，从而实现光缆物理资源和业务逻辑网络的解耦(网缆分离)。安全、可靠的全光网络，需要根据业务可用率要求为业务提供多条路由互斥选择，以满足主备、甚至是恢复路径选择。

图7-3 哑资源数字化案例

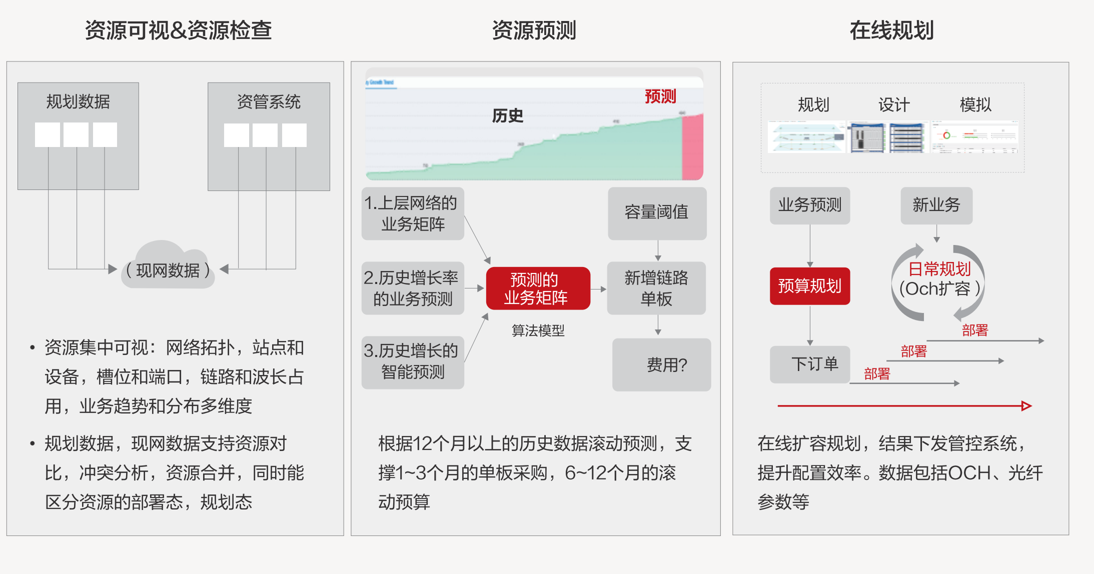


7.2 资源可视/预测/在线规划

OTT公司的互联网业务，对传统运营商业务发起新的挑战，新业务的上线时间（要求1~2天）已经成为获取新市场机会的一个关键指标。但新业务涉及网络扩容时，需要申购单板、物流、安装等，至少需要1~2个月的时间，业务开通时间长，失去大量的市场机会。

通过实时的资源可视和资源预测，使用ARIMA模型算法滚动预测，支撑1~3个月的资源采购，6~12个月的滚动预算，同时通过在线规划，自动发现资源瓶颈，精确指导扩容，资源提前到位，可以达成小时级上线。

图7-4 全光底座网络资源数字化



7.3 健康保障，基于AI算法的故障预测

长期以来，光网络的运维都是在故障发生乃至用户投诉之后的被动维修，无法提前识别故障发生前的缓慢劣化，只能等待“亚健康”状态的光纤或者业务持续恶化，直至引发各种故障，再进行紧急修复，经常因不满足SLA而导致的巨额违约赔款，也增加了维护成本。据分析现网运行故障数据，发现光纤故障占网络故障68%。其中OTS/OCh的缓变类故障占比56%（占网络总故障的38%），其中弯折、摇晃、松动、纤芯故障四类占90%。

智慧运维需要实现了对OTS/OCh的健康监控、亚健康预测、自动调优等运维自动化的闭环；其中，光网健康预测，通过机器学习和AI预测算法，分析每条光纤和波道的健康情况，并根据光性能变化趋势，提前预测故障发生的风险和具体故障风险点，从而提前规避网络风险，提供修复建议，实现主动运维，减少业务中断，避免不满足业务SLA而导致的赔款。

7.4 全光底座智能化的未来方向−−自动驾驶光网络

在汽车领域，美国高速公路安全管理局（NHTSA），及美国机动车工程师协会（SAE）将汽车自动化定义5个层次。

智能化全光底座对光网络的自动驾驶也可分为如下5个层次，运营商通过打造光网可视、运维智能化，实现光网络自动驾驶，极致用户体验，最大化商业价值，使能客户商业成功。

图7-5 全光底座智能驾驶分级

附录 缩略语

A

ACTN	TE网络抽象化控制
AD/DA	模数/数模转换
AI	人工智能
APD	雪崩二极管
ASIC	专用集成电路
ASON	自动交换光网络

B

BBU	基带单元
BER	误码率
BITS	通信楼综合定时供给设备
BOD	按需求分配带宽
BRAS	宽带远程接入服务器
BSS	业务支撑系统

C

CD	无色无方向
CDC	无色无方向无阻塞
CDN	内容分发网络
Cloud VR	云化虚拟现实
CO	中心局,一般指运营商的综合业务机房
CP	控制平面
CPE	客户终端设备
CPRI	公共通用无线接口
CR	核心路由器
C-RAN	集中式无线接入网
CWDM	粗波分复用

D

DC	数据中心
DHCP	动态主机配置协议
DML	直接调制激光器
DWDM	密集波分复用

E

eCPRI	增强型通用公共无线接口
EDFA	掺铒光纤放大器

F

F5G	第五代固定网络
FEC	前向纠错
FlexO	灵活光传送网
FTTH	光纤到户场景

G

GPON	千兆无源光网络
GW	网关

H

HEE	头端设备
HTMC	头端至尾端消息通道

I

ICT	信息和通信技术
IPRAN	IP化无线接入网
IPTV	IP电视
ITU	国际电信联盟

中国联通研究院

L

LC	液晶
LCoS	硅基液晶
LMP	链路管理协议
LTE	长期演进

M

MC-LAG	跨设备LAG
MEC	移动边缘计算
MEMS	微机电系统
MIMO	多入多出技术
MMI	多域业务协调器层间接口
MPI	多域业务协调器和配置网络控制器之间的接口
MPLS-TP	多协议标签交换-传送子集
MSTP	多业务传送平台
MTOSI	多技术操作系统接口
MUX	复用器

N

NBI	北向接口
NGOF	新一代光传送网发展论坛
NMS	网络管理系统

O

OAM	操作、管理和维护
oDSP	光数字信号处理
ODU	光通道数据单元
OLT	光线路终端
OM/OD	合分波器
ONT	光网络终端
ONU	光网络单元
OPEX	运营支出
OSC	光监控信道
OSNR	光信噪比
OSPF-TE	开放式最短路径优先流量工程
OSS	运营支撑系统
OSU	光业务单元
OSUflex	灵活光业务单元
OTN	光传送网
OTS	光传输段
OTSN	光传送切片网络
OTT	通过互联网向用户提供各种应用服务
OXC	光交叉连接

P

PID	光电集成器件
PKT	数据包
PON	无源光网络
PTP	精确时间协议

Q

QAM	正交幅度调制
QPSK	四相移相键控

R

RBD	可靠性框图分析
ROADM	动态光分插复用
RRU	射频拉远单元
RSVP-TE	针对流量工程扩展的资源预留协议

S

SBI	南向接口
SLA	服务水平协议
SNCP	子网连接保护
SNMP	简单网络管理协议
SOP	偏振态
SRLG	共享风险链路组

T

TCO	总体拥有成本
TCP	传输控制协议
TEE	尾端设备
THMC	尾端至头端消息通道
TIA	跨阻放大器
TTM	上市时间

V

VPC	虚拟私有云
VR	虚拟现实

W

WDM	波分复用
WSS	波长选择开关

X

XG-PON	10G无源光网络
ZTP	零配置部署

中国联通研究院